

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Факультет електроніки
(повна назва інституту/факультету)

Кафедра мікроелектроніки
(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

В.о.завідувача кафедри
_____ **Анатолій ОРЛОВ**
(підпис) (ініціали, прізвище)

“ _____ ” _____ 2020 р.

Дипломна робота
на здобуття ступеня бакалавра
за спеціальністю 153 Мікро-та наносистемна техніка
(код і назва)

на тему: Композиційні матеріали на основі вуглецю для застосування в
безпілотних літаючих апаратах

Виконав: студент 4 курсу, групи ДП – 61
(шифр групи)

Якименко Владислав Юрійович
(прізвище, ім'я, по батькові) _____ (підпис)

Керівник проф. каф. МЕ, к.т.н., проф. Борисов О. В.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) _____ (підпис)

Консультант з нормоконтролю доц., к.ф.-м.н., с.н.с. Георгій СВЄЧНИКОВ

Консультант з інформаційних питань доц., к.т.н., Юрій ДІДЕНКО _____

Рецензент _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) _____ (підпис)

Засвідчую, що у цій дипломній роботі
немає запозичень з праць інших авторів
без відповідних посилань.

Студент _____

(підпис)

Київ – 2020 року

ВСТУП	11
1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ РОБОТИ.....	13
1.1 Сучасний стан розробки та побудови БПЛА	13
1.2 Класифікація композиційних матеріалів	15
1.2.1Класифікація КМ по схемі армування	15
1.2.2Керамічні матриці	18
1.2.3Шаруваті пластики.....	20
1.2.4Волокнисті композиційні матеріали	21
1.2.5Об'єднання зміцнюючих елементів	22
1.3 Методи роботи з композиційними матеріалами.....	24
1.3.1Виготовлення вуглецевого волокна	24
1.3.2Твердофазні методи	26
1.3.3Рідкофазний метод.....	29
1.3.4Висновки до Розділу 1	30
2. Вибір комплектуючих вузлів експериментального макету БПЛА.....	31
2.1.1БПЛА на основі композиційних матеріалів	31
2.1.2Електромагнітні шуми і завади	39
2.1.3Екранування для запобігання випромінювання магнітних полів	45
2.1.4Розробка експериментального макету БПЛА	46
2.1.5Висновки до Розділу 2	68
3. даній роботі представлено	69
3.1.1Результати випробування.....	69
3.1.2Висновки до Розділу 3	71
ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ І ВИСНОВКИ.....	72

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	73
---------------------------------	----

СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ ТА ПОЗНАЧЕНЬ

ЛА	—	літальний апарат
БПЛА	—	безпілотний літальний апарат
МК	—	мікрокомп'ютер
КМ	—	композиційний матеріал
ПКМ	—	полімерний композиційний матеріал
ЕС	—	епоксидні смоли
ВВ	—	вуглецеві волокна
МКМ	—	металевий композиційний матеріал
ПКМ	—	полімерний композиційний матеріал
ККМ	—	керамічний композиційний матеріал

ВСТУП

Серед новітніх матеріалів велику частку займають композиційні матеріали (КМ), які мають низку різноманітних властивостей. При правильному поєднанні КМ ми зможемо отримувати оптимальні характеристики конструкцій. За останній час створили нові матеріали і структури, в яких вони поєднуються.

Сьогодні, композиційні матеріали використовуються у величезній кількості сфер через їх універсальність та можливість підбору необхідних фізичних характеристик. Головним споживачем композиційних матеріалів є авіа- та ракето- будівництво. Також їх використання поширене у малих безпілотних літаючих апаратах.

Незважаючи на їх доволі високу ціну на цей момент, вони мають велику кількість переваг перед класичними матеріалами, що використовуються. До таких переваг можна віднести: можливість виготовлення складних форм без швів, велика пружність та високі міцнісні характеристики.

Композиційні матеріали зробили революцію в величезній кількості галузей промисловості і стали популярними у високотехнологічних виробках, які характеризуються малою вагою, але разом із тим і високою стійкістю до механічних навантажень. Можна досягнути економічної вигоди в таких високотехнологічних проектах, як розробки в області військової і космічної техніки, що пов'язані, першочергово, з легкими, стійкими до впливу високих температур матеріалами, які дозволяють знизити вагу кінцевих виробів, витрати з експлуатації і розходи пального. Разом з тим композиційні матеріали можуть використовуватися у конструкції літальних апаратів не тільки як конструкційний, а ще й як елемент захисту системи керування, навігації та корисного навантаження від зовнішніх негативних впливів.

Сучасна авіація, як військова, так і цивільна, була б в декілька разів менш ефективною без композиційних матеріалів. Фактично вимоги саме цієї галузі промисловості для матеріалів (які, мають бути легкими, проте досить міцними) і були основною спрямовуючою силою в їх розробці та розвитку. В наш час загальноприйнятим є те, щоб крила літаків, їх хвостове оперення, пропелери, лопатки турбін двигунів були сконструйовані з сучасних композиційних матеріалів. Також це відноситься і до більшої частини їх внутрішньої структури і частин фюзеляжу. Корпуси деяких невеликих літальних апаратів протягом дуже довгого часу повністю конструюються з композиційних матеріалів. У великих комерційних літаках з таких матеріалів, зазвичай, виконані крила, хвостове оперення і панелі корпусу.

В категорію «безпілотних літальних апаратів» (БПЛА) традиційно вносять як великі літаки, однакові за розміром і складністю пілотованому літаку так і невеликі пристрої для особистого використання. Цей напрямок розвитку авіації дуже динамічно і масштабно розвивається як у світі в цілому, так і в нашій державі, та має значний потенціал для створення нових робочих місць.

1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ РОБОТИ

1.1 Сучасний стан розробки та побудови БПЛА

На сьогоднішній день БПЛА виконують чималу частку складних робіт. Великої швидкості розвитку зараз набуває сектор малих дронів. У квітні 2014р. Європейською Комісією прийнято звернення «A new era for aviation: Opening an aviation market to a civil use of remotely piloted aircraft systems in safe and sustainable manners» до Європейського Парламенту і Ради [11]. Як відмічено в цьому зверненні, радіо керовані авіаційні системи (RPAS) зможуть запропонувати багато нових пристроїв, значно змінюючи наше повсякденне життя. RPAS технології повинні призвести в найкоротший період до розвитку широкого різноманіття послуг, особливо в тандемі з іншими технологіями, що знадобиться для попередження та мінімалізації наслідків природних катастроф, точного, своєчасного і ефективного внесення добрив, забезпечення безпеки інфраструктурних об'єктів, таких як наприклад залізничні колії, дамби, канали, лінії електропередач, трубопроводи, траси, моніторингу та охорони природних ресурсів і оточуючого середовища, досліджень атмосферних явищ, медійної сфери, проведення наукових досліджень, зйомки фото і кінофільмів, моніторингу дотримання правил природокористування, тощо. Отже актуальність безпілотних систем з кожним роком буде лише зростати.

Зараз існує невелика кількість способів захисту від шумів. Одним з найбільш поширених методів є використання екранованих, або коаксіальних провідників.

В основу екранування покладено принцип клітки Фарадея, який працює за принципом того, що зовнішнє постійне електричне поле робить перерозподілення електричних зарядів в електропровідному матеріалі клітки так , що вони значно послаблюють дію зовнішнього поля на внутрішній простір клітки. Цей ефект застосовується з метою забезпечити захист

електронного обладнання проти ударів блискавки та електростатичних розрядів, зовнішніх перешкод і перешкод які надходять від самого БПЛА, а саме від силових ліній живлення.

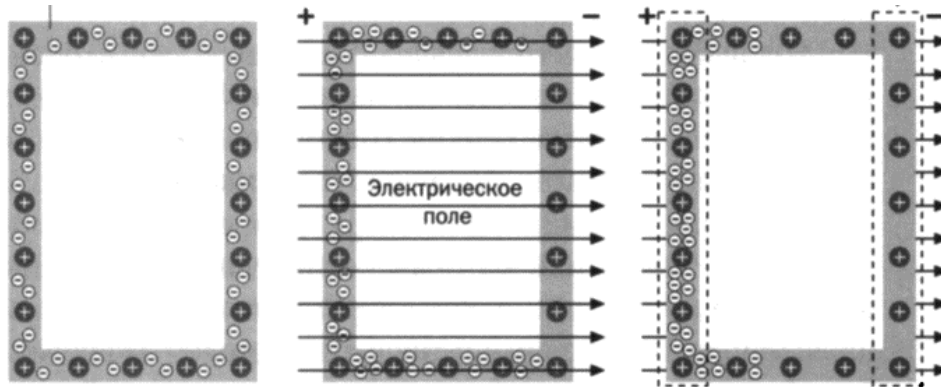


Рисунок 1.1.1 - Схема роботи екранування клітки Фарадея

Можна підкреслити, що відмінно від електричного поля, магнітне поле кліткою Фарадея нейтралізувати неможливо. Саме тому, вона зовсім немає впливу на постійні (чи повільно змінювані) магнітні поля, а також на магнітне поле Землі. Наприклад, компас всередині клітки Фарадея нормально працюватиме тільки якщо на нього не впливають сторонні магнітні поля. Так, екранування компонентів дещо забезпечує підвищення точність і надійність виробу, але не повністю.

Якщо ж говорити про електромагнітні хвилі, дія такого екранування дуже відрізняється відповідно до товщини та цілісності матеріалу, з якого воно зроблено та частоти зовнішньої хвилі. За умови, що електропровідний матеріал клітки досить товстий, а розмір отворів в ньому набагато менший ніж довжина зовнішньої електромагнітної хвилі, тоді ця клітка зменшить вплив випромінювання на простір в середині.

Прийом чи передача радіохвиль як одного з видів електромагнітного випромінювання при допомозі антени, що розміщена в клітці Фарадея, буде майже не реальною. Сигнал дуже слабшає або в цілому абсолютно блокується кліткою. Ось чому антени GPS і антени передачі даних потрібно позбавляти екранування корпусом БПЛА.

Аналіз літературних джерел та інтернет-ресурсів показав, що сьогодні БПЛА цивільного застосування у базовій комплектації майже не захищені від впливу внутрішніх і зовнішніх факторів, що вносять похибки в точність керування польотом, а якщо такий захист і є, то він виступає окремою системою з високою вартістю, на відміну від дронів воєнного призначення, де вартість відіграє не ключову роль, а захист використовується за замовчуванням. Але навіть ЛА, що використовуються в армії недостатньо захищені, особливо від електромагнітних гармат, які виводять із ладу частково або повністю електроніку на борту ЛА саме за допомогою потужної хвилі.

За останні декілька років спроектовано системи, які в менше піддаються впливу перешкод завдяки технологіям виготовлення, більш стабільним джерелам живлення, регуляторам обертів і приймачам керуючого сигналу, вдосконаленим польотним контролерам і периферії. Незважаючи на чутливі елементи польотного контролера, останні моделі можуть продовжувати виконання місії в автоматичному режимі навіть з втрачанням одного з джерел інформації.

1.2 Класифікація композиційних матеріалів

1.2.1 Класифікація КМ по схемі армування

Композитний матеріалом називають штучно виготовлений неоднорідний суцільний матеріал, який складається з кількох компонентів, окремих волокон або інших складників та матриці, що їх об'єднує. В

результаті властивості композитного матеріалу суттєво відрізняються від властивостей його компонентів. Компоненти композитів не мають розчинятися чи поглинати один одного. Вони мають бути поєднуваними [1].

Для того щоб привести до ладу КМ за різними ознаками, потрібно правильно виконати процедуру підбору КМ для виготовлення різноманітних деталей, впорядкувати термінологію в галузі матеріалознавства композитів, потрібна обґрунтована класифікація цих матеріалів. Єдиного спільного розподілу на категорії композиційних матеріалів не існує. Це можна пояснити так, що КМ представляють найбільший клас матеріалів, що обдернує метали, полімери та кераміку. Найчастіше використовується розподіл композиційних матеріалів за складовими компонентами.

Матеріал матриці є найважливішою ознакою при проведенні класифікації КМ. Присутність металевої матриці в КМ призводить до назви «металеві композиційні матеріали» (МКМ), наявність полімерної матриці призводить до назви «полімерні композиційні матеріали» (ПКМ), аналогічно для матеріалів з керамічною матрицею вводять назву «керамічні композиційні матеріали» (ККП). КМ, що мають у складі два чи більшу кількість різноманітних за складом матричних матеріалів, традиційно називають поліматричним КМ.

Назва ПКМ як правило поєднує в собі з дві частини. Перша частина - назва матеріалу наповнювача, а друга - слово «пластик», або «волокна». Наприклад, полімерні композити, армовані скловолокном, мають назву склопластики; армовані металопластиком - металевими волокнами, якщо використано органічні волокна – маємо органопластики, якщо борні волокна - боропластики, у випадку використання вуглецевих волокон маємо вуглепластик.

За розміщенням і типом арматури всі КМ ми можемо поділити на дві групи - ізотропні і анізотропні. Ізотропним є матеріали, що мають

аналогічні властивості в усіх напрямках. У випадку залежності властивостей матеріалів від напрямку в просторі чи в досліджуваному об'єкті матеріали називають анізотропними.

Матричну структуру КМ традиційно поділяють на впорядковано-армовані і хаотично-армовані матеріали (Рис. 1.2.1.1). Армуючі елементи хаотично-армованих КМ мають вигляд дисперсних включень, безперервних по об'єму або дискретних волокон. Такі матеріали часто є ізотропними або майже (квазі-) ізотропними. Такий термін (квазі-ізотропний) означає, що КМ не є ізотропним в об'ємі всього виробу чи деталі, а характеризується анізотропністю в мікроструктурі. [2]

Розподілом КМ ґрунтується на технології їх отримання: КМ розділяють на такі, що отримують рідко- чи твердо-фазними методами, а також методами вакуумного осадження або напилення, використовують також комбіновані методи.

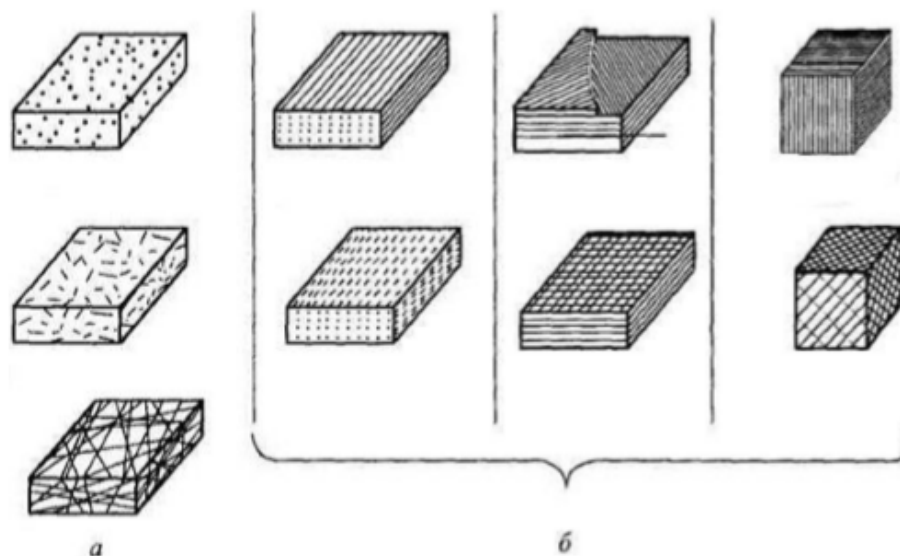


Рисунок 1.2.1.1 Конструктивна ознака класифікації композиційних матеріалів за: хаотичні КМ (а), просторово армовані одно- та багато-мірні (б) [3].

1.2.2 Керамічні матриці

Головними перевагами керамічних матеріалів є високі температури плавлення, високі міцнісні властивості при напруженні стиску, хімічна стійкість в агресивних середовищах. До новітніх керамічних матеріалів для конструкційних цілей пред'являються другі вимоги: підтримка властивостей великої міцності, високої в'язкості та інших властивостей, що властиві для металевих матеріалів.

Недостатками конструкційної кераміки, масштабне поширення якої як конструкційного матеріалу, стримує низький рівень тріщиностійкості (в'язкості руйнування). Невисока тріщиностійкість кераміки зумовлена громадною кількістю хімічних зв'язків, властивих для неї. Матеріали, що мають нековалентний тип зв'язку, зазвичай, характеризуються міцністю, але є доволі крихкими.

На поточний момент виготовлено КМ з двох, трьох чи більше різних за своїм хімічним складом та фізичними властивостями шарів та з використанням комбінованих матриць. Такі композиційні матеріали з комбінованими матрицями називають поліметричними. Перелік характеристик і корисних характерних властивостей для них значно ширший.

Наповнювачі у такій матриці розподілені рівномірно і мають назву зміцнювачами (армуючими компонентами) відповідно до ролі в підвищенні міцності матеріалу.

Властивості КМ залежать від форми деталі чи геометрії конструкції конструкції, сумарного розміру, кількості наповнювачів, характеру їх розподілу по об'єму. Наповнювачі можна поділити на три головні групи за розмірністю і формою (Рис.1.2.2.1): нуль - вимірні, одно - вимірні, дво - вимірні.

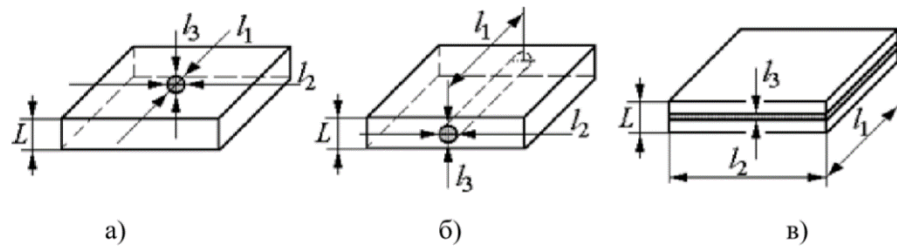


Рисунок 1.2.2.1 – Групи наповнювачів та їх розподіл за формою: а – нуль - вимірні; б – одно - вимірні; в – дво - вимірні; l_1 , l_2 , l_3 – поздовжні розміри наповнювачів; L – загальна товщина їх матриці [4].

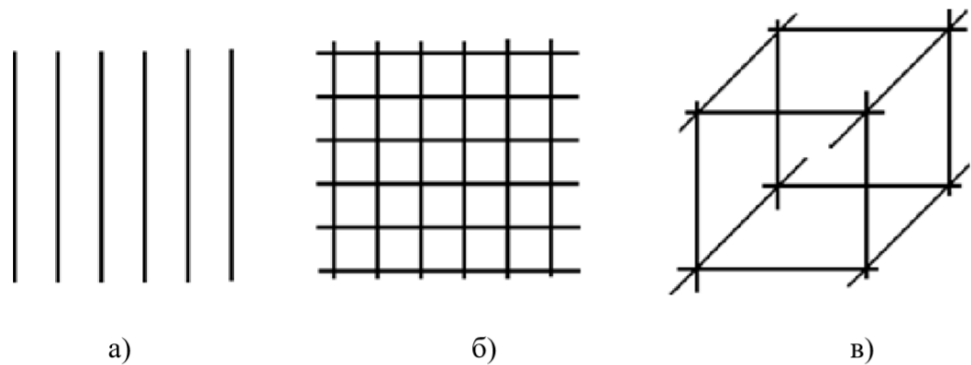


Рисунок 1.2.2.2 – Схеми армування: а – одновісна; б – двовісна; в – трьохвісна [4]

За формою наповнювача композиційні матеріали поділяють на дисперсно – зміцнені нуль - вимірні, волокнисті (одновимірно зміцнені) та шаруваті - зміцнені двовимірними наповнювачами.

Схема армування дозволяє поділ (Рис.1.2.2.2.) волокнистих композиційних матеріалів та їх групування наступним чином: з одноосьовим, двохосьовим і трьохосьовим армуванням. При одноосьову армуванні кількість наповнювача складає ві 1% до 5 %, при двохосьовому – помітно вище – від 15% до 16 %, при трьохосьовому – також близько 15 %. У шаруватих композиційних матеріалах в якості наповнювача можуть використовувати плоскі листи паперу, тканини або азбесту.

Для збільшення комплексу характеристик або посилення будь-якої із них можуть використовують наповнювачі різної форми одночасно або

однієї форми, проте різного складу. Поліармованими називають такі композитні матеріали, що містять два, три і більше різних за хімічним складом наповнювача.

1.2.3 Шаруваті пластики

У шаруватих пластиках наповнювач є у вигляді аркушів, тканин. До шаруватих композитів можна віднести біметали, що мають в складі декілька різних видів металу з коефіцієнтами лінійного розширення, що кардинально відрізняються: α -шар, β -шар (Рис.1.2.3.1). При зміні температури біметали спотворюються, і цю деформацію можна точно визначати, через це біметали застосовують для виготовлення вимірювальних пристроїв. Наприклад, алюміній і деякі високоміцні алюмінієві сплави мають невисоку корозійну стійкість, тому високоміцний алюміній, покритий корозійним алюмінієвим сплавом, володіє одночасно високою міцністю і стійкість до корозії. До категорії шаруватих КМ відносять шарувате скло, а також ламінатні матеріали на основі різних пластиків.

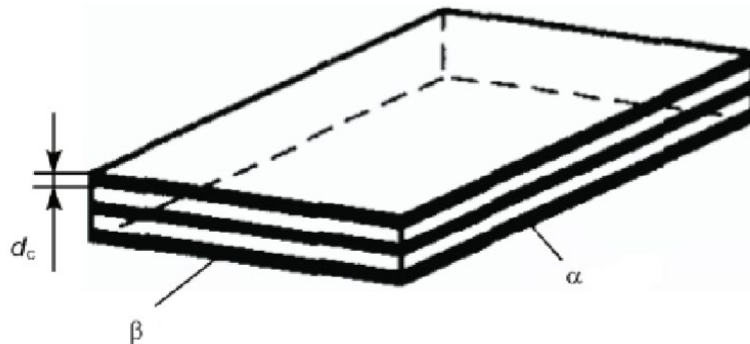


Рисунок. 1.2.3.1. – Шаруватий композит: d_c - товщина шару в шаруватому α - β композити [5]

Дерево-шаруваті пластики містять деревний шар, просякнутий фенолоформальдегідною і крезолоформальдегідною смолами. Вони мають високі фізико-механічні характеристики; низький коефіцієнт тертяковзання. мінусом є мала стійкість до вологи. Гетинакс відноситься до

шаруватих композиційних матеріалів і складається з паперу, просоченої смолами (фенолоформальдегідом). Гетинакс має високі електроізоляційні властивості, високу механічну міцність, але поступається текстолітам.

1.2.4 Волокнисті композиційні матеріали

Волокнисті композиційні матеріали (Рис.1.2.4.1.) характеризуються зазвичай пластичною матрицею, армованою волокном з високою міцністю, дротом або ниткоподібними кристалами. У цих композиційних матеріалах головні напруги сприймається волокнами, що знаходяться вздовж композиту. Волокна забезпечують міцність і жорсткість композиту за напрямком розташування волокон. Механічні властивості і механізм руйнування матеріалу окреслюються співвідношенням наступних трьох основних параметрів:

- 1) міцністю складових волокон;
- 2) міцністю матриці і її жорсткістю;
- 3) міцністю міжкомпонентного зв'язку волокна з матрицею.

Волокнисті КМ можна сортувати за природою компонентів та за типом наповнювача, а також їх знаходженню в матриці. Через це, за своєю природою матриці композиту можна виокремити КМ на основі пластиків і полімерів; чистих металів або їх сплавів; вуглецю, керамічних складових;. За природою армування композитів можна виокремити наступну класифікацію: склопластики, вуглепластики, боропластики, органопластики, полімери наповнені порошками.

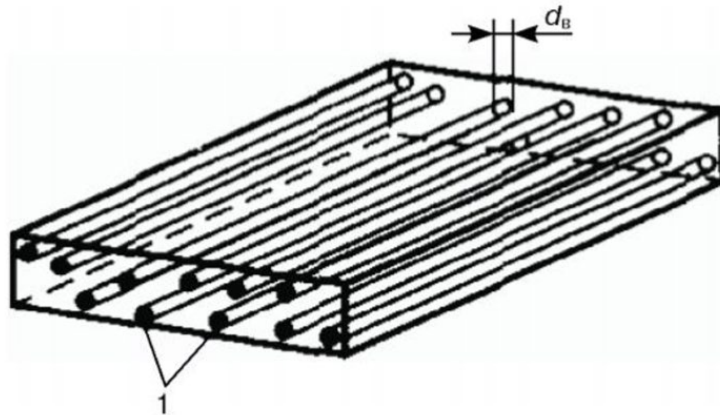


Рисунок. 1.2.4.1. – Композиційний матеріал волокнистої структури: 1 – складові волокна всередині матриці, d_v - діаметр окремого волокна [5]

Волокна завдовжки від 0,2 – до 14 мм (короткі волокна) застосовують щоб отримати конструкційні матеріали методами ливарного виробництва; термопластичні матеріали з довжиною волокна не більше 1 – 2 мм отримують екструзійними технологіями. Завдовжки від 15 до 70 мм (довгі волокна) - щоб отримати прес-матеріали (волокнітах і преміксів на базі фенолоформальдегідних і поліефірних смол.

Головні різновиди волокна (вуглецеві, скляні) виробляються з круглого перетину що в діаметрі складає 8 – 20 мкм, і трикутного, ромбічного та інших форм. Найкраще значення діаметра волокна допт, залежне від фізичної та хімічної природи власне волокна і полімерної матриці, а також від габаритів кінцевого виробу та методу його формування.

1.2.5 Об'єднання зміцнюючих елементів

Моноволокна, отримані різними шляхами, можуть бути безпосередньо застосованими для зміцнення композиційних матеріалів. Однак зазвичай волокна поєднуються в пряжу.

Пряжею називають нитку з волокон, об'єднаних методом скручування. Пряжа буває однорідною, тобто зроблена з однакових за

хімічним складом волокон, і змішаною (суміші хімічно чи фізично різних волокон). Для оцінювання лінійної щільності волокон або ниток як правило використовують позаштатну одиницю - текс (мг/м) - співвідношення маси нитки (волокна) до довжини.

Волокно може використовуватися для армування композиційних матеріалів у вигляді ниток та також у вигляді тканин.

Тканини, що отримуються при ткацькій обробці ниток і волокон, є наслідком постійного переплетення елементів які знаходяться вздовж і елементів поперечного розташування. За конструктивною характеристикою виокремлюють матеріали з трикотажним (полотняним та іншими – ситцевим або сатиновим чи саржевим) типами механічних переплетень (Рис.1.2.5.1.).

Головними технічними характеристиками полотна є склад волокна, вид плетіння, метод обробки, ширина, товщина, маса на квадратний метр, щільність тканини, міцність на розрив, подовження при розриві.

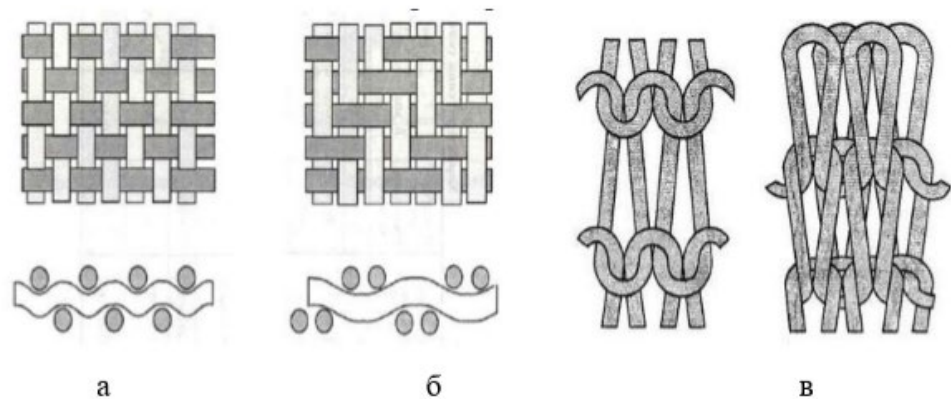


Рисунок. 1.2.5.1. – Схеми плетіння: полотняне (а), саржеве (б), трикотажне (в) [6]

Недостатком матеріалів (тканин і сіток), отриманих способом ткацької переробки, є необхідність використання лише досить пластичних волокон і пряжі. У точках де елементи контактують основи і качки відбувається деформація матеріалу, створюються недоліки, які знижують механічні

характеристики композиційних матеріалів. Більші можливості використання волокон і пряжі можна спостерігати при отриманні виїзних, трикотажних сіток.

Зміцнюючі волокна іноді бувають об'єднані також і в нетканинні матеріали, в яких немає їх закономірного розташування. Розроблено методи рідинного, повітряного, гравітаційного. В приклад, головною для отримання повсті методом рідинного войлокування є суспензія коротких волокон, залита в бак, з якого вона постачається на сітку, яка покрита фільтрувальним багат шаровим папером. Далі рідину видаляють з об'єму матеріалу, лист затискається валами і фінально при необхідності запікається в печі.

1.3 Методи роботи з композиційними матеріалами

1.3.1 Виготовлення вуглецевого волокна

Особливим видом зміцнюючих волокон є вуглецеві волокна (ВВ). Обсяг застосувань вуглецевих волокон при виготовленні композиційних матеріалів стабільно зростає, що пояснюється високим рівнем їх характеристик:

- за питомими показниками вуглецеві волокна домінують над всіма існуючими жаростійкими волокнами;
- межа міцності високомодульних ВВ становить від 2,5 – до 3,5 ГПа;
- модуль пружності: в діапазоні від 200 ГПа до 700 ГПа;
- густина вуглецевих волокон складає від 1600 кг/м³ до 1800) кг/м³, що помітно нижче густини чистого графіту (2260 кг/м³), що пов'язано з немалою пористістю волокон і їх не ідеальною структурою;
- висока хімічна стійкість характерна для ВВ до дії чималої кількості агресивних середовищ.

Залежно від технології отримання та умов фінальної обробки вуглецеві волокна діляться на карбонізовані або графітовані.

Термічна обробка карбонізованих волокон виконується при температурі від 900 °С до 2000 °С, вміст вуглецю в них становить від 80% до – 99 %.

При отриманні графітованих волокон температура термообробки більше ніж 3000 °С. Вуглецю в них знаходиться більше 99 %. Для проведення графітозації, зазвичай, використовують карбонізовані волокна.

Виробництво вуглецевих волокон ґрунтується на їх термічній деструкції при нагріванні полімерів в інертному оточуючому середовищі.

Технологічні операції карбонізації та графітизації проводяться в розрідженій атмосфері, в різноманітних контрольованих газових середовищах із заданим вмістом метану, азоту чи аргону, або альтернативно - у вугільній засипці, рідше - коксовій і графітовій засипках. Як правило, під час структурного розкладання таких полімерів виникають летючі продукти і лишається твердий коксовий залишок. Перехід органічних волокон в вуглецеві зв'язаний з проходженням досить складних хімічних реакцій у волокнах з кардинальною зміною їх структури, однак при збереженні хімічних складових елементів первинного полімерного скла.

Для отримання ВВ використовують такі волокнисті полімери, які зазвичай не плавляться при високотемпературній обробці і в результаті дозволяють високий вихід вуглецю в кінцевому продукті, а також забезпечують високонадійні механічні властивості. До таких полімерів відносяться поліакрилонітрильні волокна, гідратоцеюлозні волокна, що багаті вуглецем пеки (звичайні і мезофазних) і органічні волокна, що отримані з фенольних смол.

З поліакрило - нітрильних волокон зазвичай отримують міцні високо - модульні ВВ. Для цього виду сировини є переваги: максимальний вихід по вуглецю і легша технологія (нижча температура нагрівання матеріалів в

технологічних операціях). Недоліком їх використання є виділенні певної отруйної речовини, а саме синильної кислоти. Гідрото - целюлозні волокна не мають цього мінуса, крім того вони більш дешеві, тому широко використовуються для виготовлення вуглецевих волокон. Технологічний процес одержання волокон з гідратцелюлозної ниток має стадії текстильної підготовки матеріалу, окиснення, карбонізації, графітизації.

Текстильна підготовка розчинниками або поверхнево речовинами потрібна для позбавлення вологи, неорганічних домішок і органічних речовин, також і замаслювачів. Після просушування целюлози на етапі окиснення при температурі 350 – 400 °C можна спостерігати масивні втрати маси матеріалу і в результаті в залишку є, не більше 60 – 70 % вуглецю. Далі за дотримання температури 900 – 1500 °C відбувається карбонізація волокон. Матеріал ще більше збагачується вуглецем. Кінцевий етап термічної обробки волокон, графітизація, відбувається в середовищі аргону і триває всього лише декілька хвилин. Стартова температура цієї стадії визначається кінцевою температурою карбонізації, а остаточна температура складає приблизно 2600 – 2800 °C. Після закінчення процесу графітизації фінальний вміст вуглецю у волокні перевищує 99%. Волокна з покращеною міцністю і пружними характеристиками отримують при поєднанні процесів.

1.3.2 Твердофазні методи

До твердофазних методів виготовлення КМ належать дифузійне зварювання, прокатка та пресування, а також високошвидкісні методи поєднання компонентів композиції.

За умови таких процесів використовують матричний матеріал в порошкоподібному стані чи як аркуші.

За першої умови в прес-формі здійснюється одночасне пресування порошку матриці з розподіленими металічними або керамічними волокнами, найімовірніше дискретних та ниткоподібних кристалів. Значним недоліком методу є труднощі розташування волокон. Збільшений вміст ниткоподібних кристалів і волокон в матриці може бути досягнутий за допомогою розміщення і осадження волокон на металевій підкладці, шарування цих підкладок в попередню заготовку, дифузійного зварювання заготовки до стадії отримання тонкої фольги з композиційного матеріалу і подальшого високотемпературного нагрівання виготовленої конструкції до температури, яка на 28-55 °С вище точки плавлення матриці, з додаванням незначного надлишкового тиску.

Метод динамічного високотемпературного пресування передбачає нагрівання матеріалу в атмосфері зі зниженою окислюваністю, наступного перенесення його на робочий стіл ударно-стискуючого механізму і стисненні пакета до потрібного розміру за один хід приладу.

Порошок алюмінію (або титану, нікелю чи молібдену) змішують з волокнами сапфіра або карбіду кремнію, підігрівають в спеціальному вакуумованому контейнері й ущільнюють методом ударного штампування у відповідній прес-формі.

Такою технологією отримані вироби специфічної форми типу бджолиних сот для крильчатки механічного компресора або лопаток гідравлічних турбін. Також відомий спосіб технології отримання полікристалічного КМ, що складається з двох основних етапів: 1) отримання кристалічного дрібного порошку, що включає не менше 25% нанорозмірних складових фракцій нітриду бору кубічної форми з геометричним розміром окремих частинок близько 100 нм; 2) в наступному в дрібно - кристалічний порошок нітриду бору вводять металевий компонент подрібненого алюмінію (порошку); надалі матеріал кінцевої суміші пресують при тиску 0,5-5,5 ГПа та за температури 1300-1600 °С

Дифузійне зварювання волокон, попередньо покритих матричним матеріалом, дає змогу отримати хорошу орієнтацію лише при використанні високопластичних матриць. Для остаточного з'єднання окремих різнорідних шаруватих металевих компонентів часто застосовують зварювання вибухом, в тому числі окремих металів, за умови, що різниця температур їх плавлення досягає 1000 °С. Метод економічно вигідний і забезпечує надійне зчеплення, що з'єднуються. Зварюванням вибухом дозволяє отримати волокнисті композиції на основі сплавів алюмінію та міді. Однак метод не дає отримувати композиції з високоміцними високомодульними крихкими волокнами, і в цьому полягає його недолік.

Короткочасний вплив ударних нагрузок з меншими швидкостями деформування, ніж при вибуху, також дає змогу отримувати різні металеві волокнисті композиційні матеріали з достатнім чи хоча б задовільним зв'язком між компонентами.

Дисперснозміцнені КМ отримують твердофазними методами, які застосовуються шляхом додаткового введення дрібнодисперсних неметалевих частинок карбідів, іноді оксидів або боридів чи нітридів як тугоплавких складових сполуки. Хімічне або механічне змішування - основа технології отримання суміші порошків. Іноді використовують хімічне розкладання суміші солей, внутрішнє або поверхнєве їх окисленням, хімічне осадження з розчинів або воднєве поновлення. Спіканням або формуванням проводять високотемпературну пластичну деформацію для отримання щільного, безпористого напівфабрикату (стрічок, профілів, смуг і т.д.)

Найбільш поширеними сполуками, використовуваними для отримання зміцнюючих фаз дисперсно зміцнених матеріалів на основі алюмінію і його сплавів, є хімічні оксиди. В Україні виробляють такі сплави типу Спечений Алюмінієвий порошок (САП), який відрізняються концентрацією основної складової оксиду Al_2O_3 в діапазоні від 6% до 22%. Закордонними

аналогами є сплави SAP-930 (або SAP-895 чи SAP-865). Аналогічно до матеріалів типу САП розроблені дисперсно зміцнені КМ, зміцнюючою фазою в них є карбід алюмінію Al_4C_3 . Відомий також метод змішування оксидів з іншими твердо-зміцнюючими фазами (наприклад, $TiC-Al_2O_3-Al$, $Fe_3Al-TiC$). Названі сплави забезпечують підвищення сумарної міцності (також і довготривалої), а також повзучості, але, на жаль, вони при цьому помітно втрачають механічні показники сумарної пластичності.

Використання КМ, виготовлених твердофазними методами, в наш час обмежений дороговартістю, що головним чином пов'язана зі складним процесом їх виготовлення. Порошкова металургія і інші подібні технології отримання КМ - багатостадійні, тривалі за часом і способи, що потребують великих витрат енергії. Через це останні роки роботу вчених направлено на створення нових технологій, що зможуть дозволити виготовляти КМ доступнішими матеріалами.

1.3.3 Рідкофазний метод

Сьогодні рідкофазні методи визнані ефективнішими в порівнянні з твердо фазними. Вони призводять до створення сильного зв'язку між окремими фазами, який необхідний для достатньо високих механічних властивостей кінцевого КМ, і дають можливість використовувати обладнання та головні переваги технологій ливарного виробництва.

До звичайних рідкофазних методів виробництва композитів можна віднести способи просочення, замішування і методи *in-situ*.

Спосіб рідкого просочення є найзручнішим щоб отримати готові вироби з композиційних матеріалів, так як виготовлення їх з заготовок механічними методами співвідноситься з деякими проблемами. Межа між шарами результуючого матричного матеріалу в композитах, отриманих твердофазними методами, в цьому випадку відсутній. Основний результат

вакуумного взаємного просочення полягає в укладанні армованої фази в форму необхідної виду, ущільнюється до конкретного процентного вмісту в об'ємі кінцевої форми і надалі піддається взаємному просоченню в муфельній печі з інертною газовою атмосферою або з відкачуванням вакууму. Просочення працює під впливом капілярних сил і тиску стовпа розплавленої матриці, що розміщена в зверху армованого компонента. У системах з хорошою змочуваністю достатньо капілярного тиску для того, щоб відбулося взаємне просочення волокон.

Інші технологічні методи рідкофазного одержання КМ (наприклад, механічне замішування, різноманітні методи *in-situ*), що часто застосовуються для виробництва власне дисперсно зміцнених КМ, за характерними способами поєднання окремих армуючих фаз з фінальною матрицею діляться на наступні основні типи:

- екзогенне (або *ex-situ*) армування;
- ендогенне (або *in-situ*) армування;
- способи що поєднують комбінації переваги перших згаданих вище двох способів.

Далі роботі буде наведено розгорнуту класифікацію згаданих вище технологічних методів. Ці методи найбільш поширені і більше підходять для технології виготовлення дрібно структурних КМ. Це найголовніше, і саме тому їх варто розглянути більш детально.

1.3.4 Висновки до Розділу 1

Метою дипломної роботи є зменшення впливу внутрішніх та зовнішніх електромагнітних факторів на систему керування БПЛА.

Завданням роботи є виготовлення прототипу БПЛА, корпус якого розроблено на основі вуглецевмісних композиційних матеріалів які

забезпечують захист чутливих елементів від шумів і завад, а також розробка системи захисту від внутрішніх факторів.

В даному розділі проаналізовано сучасний стан побудови безпілотних літальних апаратів. Встановлено, що перспективним напрямком розв'язку цього завдання є використання композиційних матеріалів на основі вуглецевих волокон в якості конструкційного матеріалу. При цьому важливою задачею є захист електронних систем на борту БПЛА від електромагнітних впливів, а також засобів боротьби з БПЛА, число яких надалі буде тільки зростати. Електронні шуми, які заважають БПЛА справно і надійно працювати, знижують рівень використання їх у вищезазначених сферах.

Серед нових матеріалів особливе місце займають композиційні матеріали, що володіють цілим комплексом різноманітних властивостей, правильне поєднання яких дозволяє отримувати необхідні конструкції. Для зниження рівня випромінювань використовують матеріали поглинаючого типу і тому привертають до себе велику увагу, так як знаходять широке застосування у техніці зв'язку та радіолокації, медицині. Особливе місце вони займають у ЛА будь-яких класів.

2. Вибір комплектуючих вузлів експериментального макету БПЛА

2.1.1 БПЛА на основі композиційних матеріалів

Із зростанням попиту до нових моделей безпілотної техніки зростає потреба в створенні нових матеріалів для її виготовлення. З 1960-х років

завдяки своїм показникам композиційні матеріали успішно впроваджуються в авіаційну і космічну техніку.

Композиційні матеріали складаються з металевої або неметалевої матриці (основи), до якої додано ущільнюючі волокна дисперсних частинок із наперед заданим просторовим розподілом; до того ж композитні матеріали дозволяють ефективно використовувати індивідуальні властивості складових композиції. Поєднуючи об'ємний розподіл окремих компонентів, можемо, споглядаючи на призначення, виготовляти композитні матеріали з необхідними кінцевими значеннями механічної міцності, температурної (жаро-) міцності, модуля механічної пружності, абразивної стійкості до зношування. Композити володіють комплексом конструкційних і спеціальних властивостей, практично недосяжних в традиційних матеріалах на металевій, полімерній, керамічній, вуглецевої і інших основах. Порівняльні характеристики різних конструкційних матеріалів представлені в таблиці.(Таблиця .2.1.1.1)

Розрахункові дані, підтверджені результатами експериментальних досліджень і льотних випробувань, показують, що використання композиційних матеріалів дозволяє знизити вагу планера літального апарату на 30-40% в порівнянні з вагою планера з традиційних металевих матеріалів. Все це забезпечує отримання резерву ваги, який може бути використаний для збільшення дальності польоту або корисного навантаження.

Таблиця 2.1.1.1 - Порівняльні характеристики різних конструкційних матеріалів [7]

Матеріал	Густина Кг/м ³	Міцність, МПа	Модуль пружності, ГПа
Вуглецевий пластик	1500	120 0	170
Борний пластик	2000	120 0	270
Органо пластик	1300	200 0	95
Скло пластик	2000	200 0	70
Сплави алюмінію	2700	600	70
Сплави титану	4500	110 0	110
Сталь	7800	210 0	200

Використання композиційних матеріалів в авіаційній промисловості значно знижує матеріаломісткість конструкцій, збільшує до 90% коефіцієнт використання матеріалу, зменшує кількість оснащення і різко знижує трудомісткість виготовлення конструкцій за рахунок зменшення в кілька разів кількості вхідних в них деталей.

Як наповнювачі для композитів можуть використовуватися тканини, цільноткані чохли, стрічки, джгути, нитки на основі багатофазних і полікристалічних безперервних волокон і ниткоподібних монокристалів скла, вуглецю, бору, берилію, органічних волокон, що мають високі міцність і модуль пружності.

В якості сполучних при виготовленні деталей і виробів з керамічних матеріалів найбільшого поширення набули епоксидні, фенолформальдегідні, кремнійорганічні і поліамідні смоли. Матеріал матриці визначає, як правило, рівень робочих температур нагрівання композиційних матеріалів, характер зміни їх властивостей під впливом температури, атмосферних газів і інших чинників, а також режими отримання і переробки матеріалів.

Полімерні вуглепластики (карбоволокніти) характеризуються низькою щільністю, високим модулем пружності, низьким коефіцієнтом термічного розширення, малою тепло- і електропровідністю, стабільністю коефіцієнтів тертя і малим зносом при терті.

Наповнювач у вигляді тканини більш технологічний при переробці, проте наявність слабких ниток зменшує ступінь наповнення углепластиков до 45-50 об. % В порівнянні з 55-62 об.%. Характерними для матеріалів на основі джгутів. В результаті деякі характеристики міцності і пружні характеристики углепластиков зменшуються. Використання стрічки і джгута, що складаються з більш міцних Моноволокно, забезпечує підвищення міцності углепластиков при розтягуванні і вигині.

Особливістю вулепластиків є їх висока втомна міцність, більша, ніж у боро- і скловолокнітів, і знаходиться на рівні втомної міцності титану і легованих конструкційних сталей. Вуглепластики істотно перевершують метали і сплави по віброміцності, так як мають високу демпфуючу здатність. Орієнтуючи волокна під кутом один до одного, можна у великих межах змінювати демпфуючу здатність вуглепластиків і здійснювати налаштування деталей від резонансного режиму без зміни їх геометричних форм. Вуглепластики характеризуються високою радіаційною, водо-, аеро- і бензостойкість. і можуть застосовуватися як для зовнішніх, так і для внутрішніх деталей літального апарату. Специфіка геометричних, фізичних, механічних і хімічних характеристик борного волокна забезпечує набір

характерних особливостей таких бороволокнітів. Характерна для них комірчаста мікроструктура дозволяє забезпечити досягнення досить високої механічної міцності при зсуві до межі поділу зміцнюючих і сполучних компонентів. Поряд із зазначеними особливостями, механічні властивості бороволокнітів підпорядковуються загальним для армованих систем закономірностям. Регулювання властивостей бороволокнітів досягається варіюванням схем орієнтації наповнювача. Бороволокніти стійкі до дії проникаючої радіації. Тривала дія води, органічних розчинників і паливно-мастильних матеріалів не впливає на їх механічні властивості. Вироби з бороволокнітів для літальних апаратів досить різноманітні: профілі, окремі панелі, механічні ротори і лопатки пневмокомпресорів, лопаті привідних гвинтів або трансмісійні силові вали для вертольотів.

Полімерні скловолокнисті композиційні матеріали відрізняються від інших КМ конструкційного фінального призначення оптимальним поєднанням високої механічної міцності, досить низької густини, низької теплопровідності, високих електроізоляційних властивостей, досить низької вартості, а тому - доступності зміцнюючого наповнювача.

Вперше конструкційні органопластики були впроваджені в КБ ім. Н. І. Камова. З цих матеріалів були виготовлені цілі агрегати планера. Також органопластики застосовують в якості ізоляційного і конструкційного матеріалу в електричній промисловості, автобудуванні; з них виготовляють труби і ємності для реактивів,

Металеві композиційні матеріали мають унікальну серед всіх інших композиційних матеріалів властивістю - властивістю зварюваності. Хоча і для них під час зварювання існують дві основні проблеми. Перша - виняткова складність розплавлення алюмінієвої матриці, яка утворює зварене з'єднання без пошкодження волокон і зниження їх міцності в результаті теплового впливу зварювального нагріву і хімічної взаємодії волокон з розплавленим алюмінієм. Друга проблема - складність якісного

формування зварних швів внаслідок поганого змочування алюмінієвих волокон на зварюються поверхнях.

Високий модуль пружності і висока питома міцність забезпечують композитних матеріалів переваги при експлуатації ЛА в умовах складного навантаження. Однак ці переваги повною мірою можуть бути використані за умови їх оптимального поєднання з елементами металевої конструкції (інтегральні конструкції). Під цим мається на увазі конструкція, яку збирають з окремих елементів (неотвержденного, частково або повністю), виготовлених різними технологічними способами, які потім формуються в єдине ціле за один технологічний цикл. Методологія виготовлення таких конструкцій дозволяє отримати складну високонавантажувану композитну конструкцію з великим числом вхідних в неї елементів без механічної підгонки деталей, свердління отворів і установки механічного кріплення. Природно, повинна бути виготовлена та налагоджена необхідна технологічне оснащення. Такий прогресивний підхід дає можливість в повній мірі використовувати переваги не пошкодженого механічною обробкою конструкційного композиційного полімерного матеріалу.

Інтегральні конструкції можуть забезпечити істотне зниження маси з одночасним підвищенням жорсткості, міцності і технологічності. При використанні композиційних матеріалів для підкріплення основних силових елементів маса фюзеляжу може бути знижена на 20%, маса крила - на 15-20%, маса оперення - на 10-15%. (Рис. 2.1.1.1.)

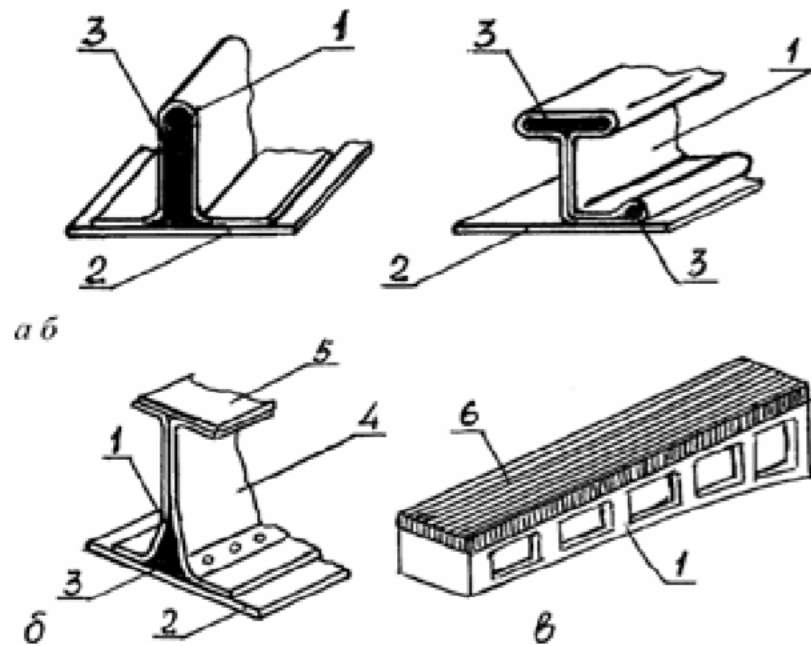


Рис. 2.1.1.1. - Інтегральні конструкції, виконані за різними технологіями:

а- зміцнені протягуванням композиційного матеріалу; б - склеєні епоксидними смолами; в - склеєні спеціальними клеями. 1 – тонкий металевий профіль; 2 – металева обшивка; 3 - композиційний заповнювач; 4 - стінка окремого лонжерона; 5 – металева накладка; 6 - силова накладка з композиційного матеріалу [7]

Основними ознаками інтегральної конструкції як складальної одиниці є:

- інтегральне (нерознімне) з'єднання її в конструктивних елементів;
- Блокова структура виготовлення, що передбачає використання при формуванні і полімеризації конструкцій пов'язаних з нею елементів розчленованої технологічної оснастки (формують елементів і формотворчих), кожен з яких містить заготовки елементів конструкції (блоки).

При проектуванні інтегральних конструкцій з композиційних матеріалів намагаються реалізувати наступні основні принципи:

1. Принцип суміщеного формування. Цей принцип передбачає виготовлення інтегральної конструкції за один цикл формування, причому складові її блоки або окремі елементи можуть попередньо частково або повністю затверднути.

2. Принцип синтезу. Цей принцип передбачає побудову конструкцій більшою мірою інтегральності з конструкцій більш низького ступеня інтегральності

3. Принцип конструктивної організації. Дотримання цього принципу передбачає врахування наступних факторів:

- вибір матеріалів і схем армування з урахуванням величини і характеру діючих навантажень;
- поєднання полів діючих напружень з напрямком переважної орієнтації силових елементів інтегральної конструкції;
- використання відповідних конструктивних заходів для зниження концентрації напружень, обумовлених перепадом жорсткостей проектованої конструкції;
- збільшення міжшарової міцності в зоні сополімеризації елементів інтегральної конструкції за допомогою введення адгезивів, спеціальних конструктивних елементів, поздовжніх і поперечних зв'язків;
- конструктивне резервування, що забезпечує додаткову міцність інтегральних конструкцій за рахунок підвищення коефіцієнта безпеки тих конструктивних елементів, доступ до яких для проведення контролю якості при експлуатації неможливий або утруднений.

2.1.2 Електромагнітні шуми і завади

Шум можна визначити як будь-який електричний сигнал в схемі, відмінний від корисного. Важливим виключенням з цього визначення є спотворення які виникають в схемі в результаті не лінійності. Останні визначаються схемо технічними рішеннями і не відносяться безпосередньо до проблеми. Хоча поява таких спотворень є небажаною, але до тих пір, поки вони, виникають в одній частині схеми, не впливають на іншу частину, їх не сприймають як шуми.

Джерела шумів можна розбити на три основних класи. Перший включає в себе так звані внутрішні джерела шумів, виникаючі в результаті випадкових флуктуацій в середині фізичних систем. Прикладами внутрішніх шумів є терловий і дробовий шуми. Другий клас складають джерела шумів штучного походження, такі, як двигуни, перемикачі, передавачі. До третього класу відносяться джерела шумів, що представляють собою обурення природного походження, наприклад блискавки і сплеск сонячної активності.

Перешкоду можна визначити визначити як небажаний ефект від дії шумів. Якщо напруга шумів робить роботу схеми незадовільною, то це перешкода. Зазвичай шуми неможливо повністю знищити, можна лише зменшити їх вплив на стільки, що б вони не викликали перешкод.

Чутливість- величина реакції приладу чи схеми на небажану електричну енергію (шум). Поріг чутливості схеми або приладу є максимальна величина шумів. При якій апаратура ще працює задовільно.

Типові шляхи проникнення шумів

Із схеми на (Рис.2.1.2.1) видно, що проблеми шумозаглушення виникає при наявності трьох потрібних елементів:

1. Джерело шуму
2. Схема приймача (на що впливають шуми)
3. Канал зв'язку

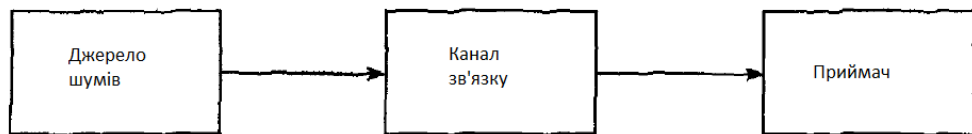


Рис. 2.1.2.1. - Схема реалізація якої призводить до виникнення заглушення шумів [8]

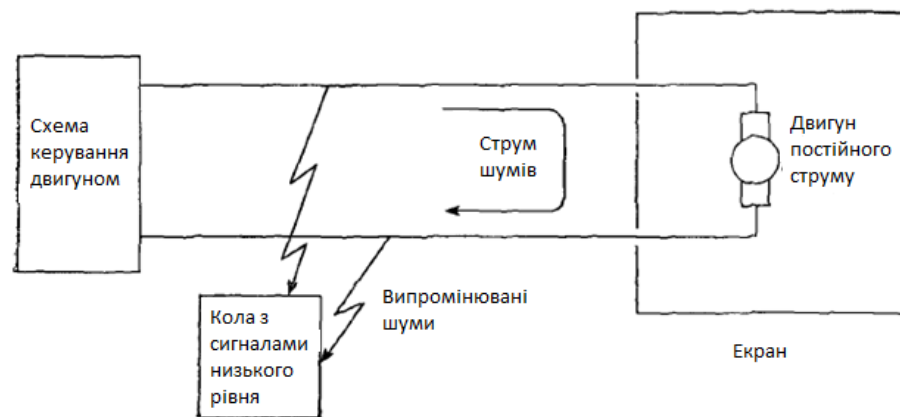


Рис. 2.1.2.2 - Дія шумів від електродвигуна на коло з сигналами низького рівня [8]

При аналізі проблеми шумів на сам перед необхідно визначити, що виступає у ролі джерела шумів, що слугує їх приймачем і яким чином джерело та приймач зв'язані один з одним. Звідси виходить, що можливі три способи усунення проходження шумів:

1. Подалення шумів в джерелі
2. Створення приймача, не чутливого до шумів
3. Мінімізація шумів

В деяких випадках необхідно використовувати два, або навіть всі три вказаних способи подавлення шумів.

Розглянемо, наприклад, схему, показану на (Рис. 2.1.2.2) в цій схемі екранований двигун постійного струму з'єднаний зі схемою керування. Шуми від двигуна викликають завади у схемі зі слабким струмом, розташованій в тій же установці. Шумові струми виникаючі на колекторі двигуна, виходять за межі екрану, проходять по провідникам до схеми керування. Провідники випромінюють шуми наводячи їх на кола зі слабким струмом.

В цьому прикладі джерелом шумів являється іскрення між щітками і колектором двигуна. Канал зв'язку складається з двох частин: привідників підведених та випромінювання від цих провідників. Приймачем слугує слаботочне коло. В цьому випадку з джерелом та приймачем мало що можливо зробити. Через це перешкоди необхідно подолати у каналі зв'язку. Можна блокувати шуми, що проходять по провідникам за межі екрану, або подолати випромінювання провідників, а можливо, слід зробити і то і інше.

Шуми наведені на провідники

Одним з найбільш очевидним, але часто упущених з видів шляхів проникнення шумів в схему являються провідники. Проходячи через «зашумлений» простір, провідник отримує шумові наведення, а потім передає їх наступній схемі. Це викликає завади. Рішення полягає в захисті провідника від шумів, або забезпеченні розв'язки, завдяки якій шуми відводяться від провідника перед тим, як потраплять в чутливу схему.

Основним прикладом такого вигляду зв'язку являється шуми, які проникають в схему по провідникам живлення.

Зв'язок через спільний опір

Зв'язок через спільний опір зустрічаються там, де струми від двох різних схем проходять через один опір. При цьому падіння напруги, яке створюється кожною із схем на цьому опорі. Являється для іншої схеми завадою. Класичний приклад такого роду зв'язку показаний на (Рис. 2.1.2.3.). Обидва зворотні струми (1 і 2) проходять на землю спільний опір.

Що стосується схеми 1, то потенціал її спільної точки відносно землі модулюється зворотнім током 2, протікаючи через спільний опір шини землі. Через це від схеми 2 до схеми 1 через спільний опір потрапляє деякий шумовий сигнал.

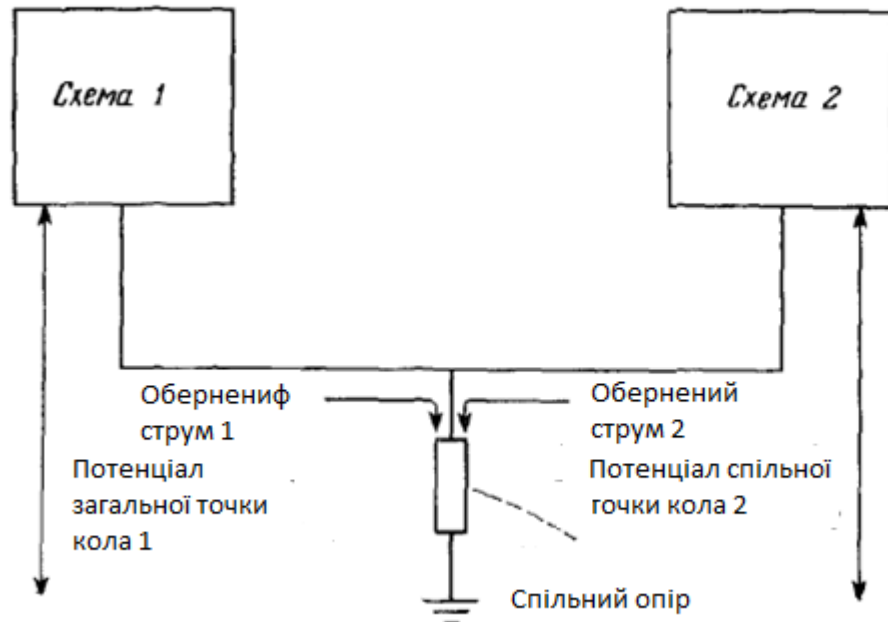


Рис. 2.1.2.3- Приклад зв'язку двох схем через спільну шину землі [8]

Іншим прикладом проблеми такого роду являється представлена на (Рис. 2.1.2.4) схема розводки живлення. Будь яка зміна струму, споживаного схемою 2, буде змінювати напругу на контактах живлення схеми 1 через наявність спільних опорів шини живлення і внутрішнього опору джерела живлення. Стан можна дещо поліпшити, підключивши схему 2 ближче до вихідним контактам джерела живлення та зменшивши тим самим величину спільного опору шини живлення. Однак зв'язок через внутрішній опір джерела живлення залишиться.

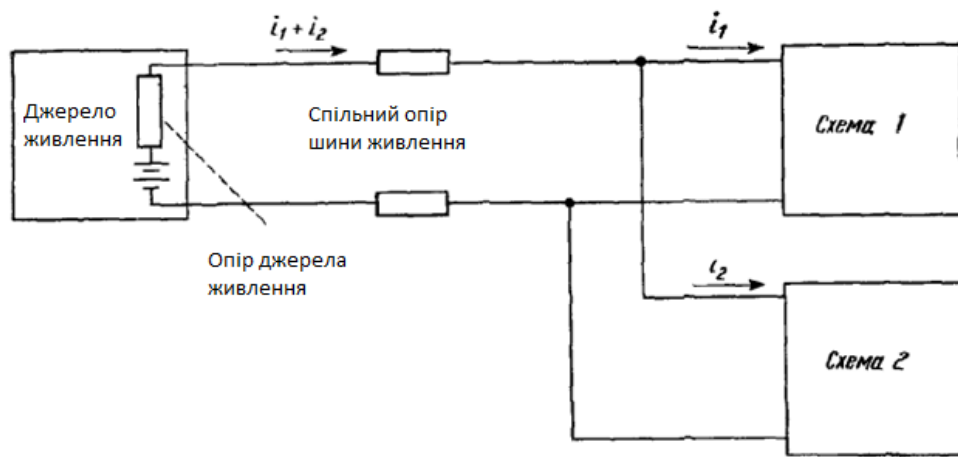


Рис . 2.1.2.4 - Приклад зв'язку схем через спільне джерело живлення [8]

Використання теорії кіл

Для точної відповіді на питання про поведінку будь якого електричного кола необхідно вирішити рівняння Максвелла. Це рівняння являється функціями трьох просторових змінних(x, y, z) та часу (t).Вирішення їх для будь якої , навіть найпростішої задачі зазвичай являється дуже складною. Щоб цього уникнути, для більшості операцій проектування використовується приблизний метод аналізу, який називається аналізом електричних кіл.

При цьому аналізі просторові змінні виключаються і виконується приблизний розрахунок у вигляді функції лише часу. Аналіз електричних кіл заснований на наступних припущеннях:

1. Всі електричні поля зосереджені в конденсаторах
2. Всі магнітні поля зосереджені в індуктивностях
3. Розміри схем малі порівняно з довжиною хвиль яка береться до уваги

При цьому фактично мається на увазі, що зовнішніми полями (хоча вони насправді існують) можна при аналізі схеми знехтувати. Проте при розгляді впливу зовнішніх полів на інші схеми вони повинні враховуватися.

Наприклад, потужний 100-ватний підсилювач випромінює у простір потужність 100мВт. Цими 100мВт ми повністю нехтуємо при аналізі потужного підсилювача. Однак, навіть якщо мала частина цієї потужності яка випромінюється попаде на вхід чутливого підсилювача, вона може створити великий шумовий сигнал.

Там де це можливо, канали проникнення шумів показують у вигляді еквівалентних кіл з елементів з зосередженими параметрами. Наприклад змінне електричне поле між двома провідниками можна представити у вигляді ввімкненого між ними конденсатора (Рис. 2.1.2.5.)

Змінне магнітне поле, яке поєднує два провідника, можна представити у вигляді взаємній індуктивності між двома колами. (Рис. 2.1.2.6.).

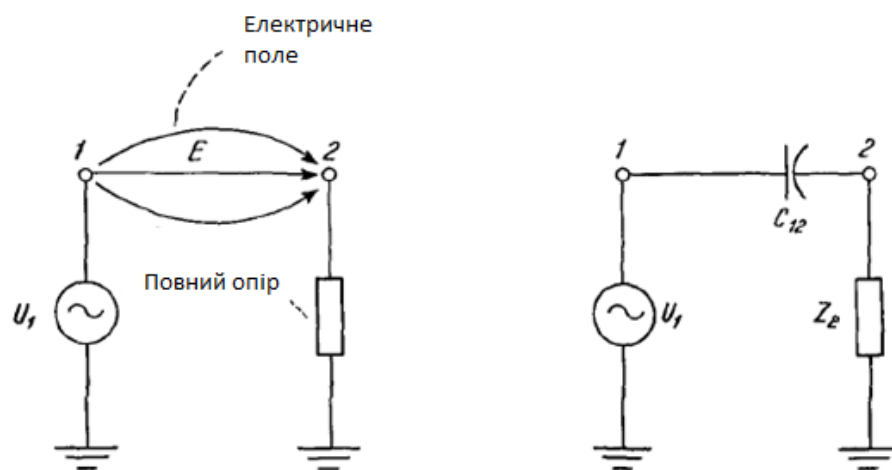


Рис . 2.1.2.5 - Представлення зв'язку двох кіл через електричне поле[8]

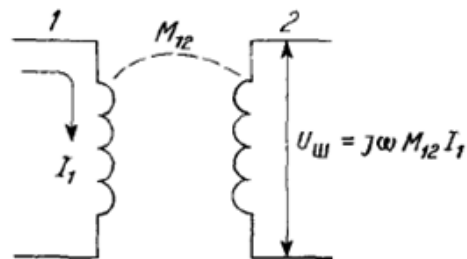
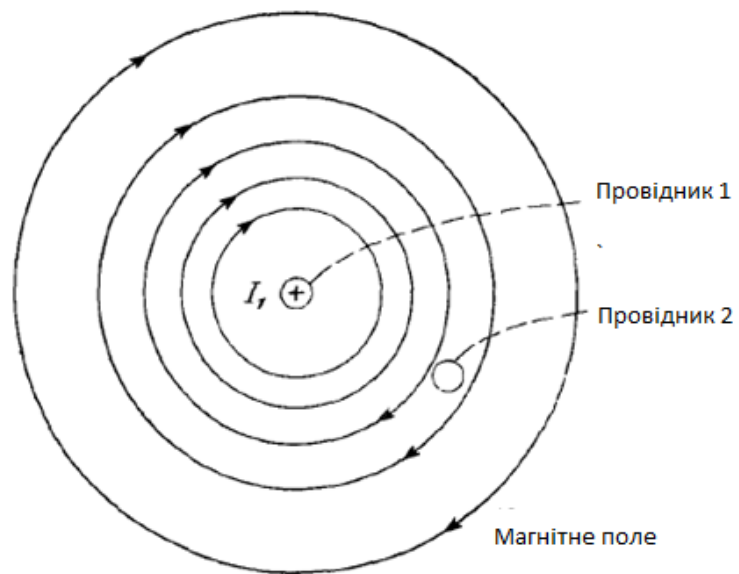


Рис. 2.1.2.6 - Представлення зв'язку двох кіл через магнітне поле [8]

2.1.3 Екранування для запобігання випромінювання магнітних полів

Щоб запобігти випромінюванню, джерело завад можна замкнути в екран. На (Рис .2.1.3.1) показано електричне і магнітне поля провідники зі струмом, який знаходиться у вільному просторі. Якщо провідник помістити в екран, лінії електричного поля будуть замикатися на екран, однак на магнітне поле екран буде діяти дуже слабо вплив (Рис. 2.1.3.2).

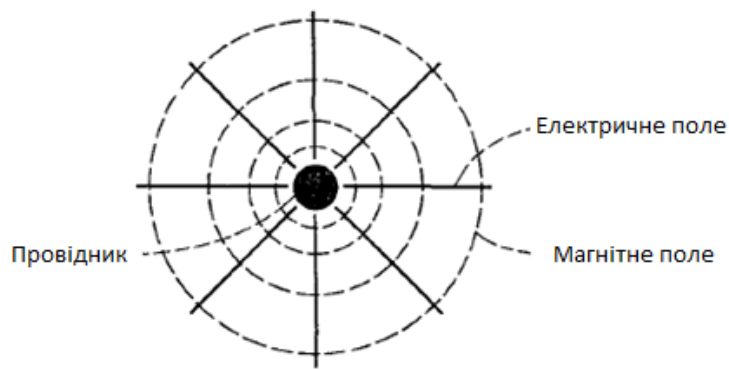


Рис. 2.1.3.1 - Поле провідника з струмом [8]

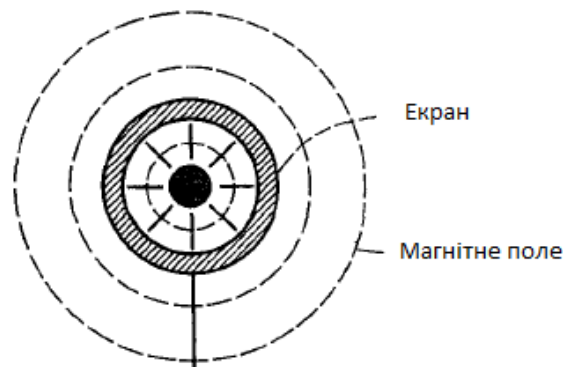


Рис. 2.1.3.2 - Поле екранованого провідника [8]

2.1.4 Розробка експериментального макету БПЛА

За основу був вибраний БПЛА розробки КПП ім. Ігоря Сікорського. Патент UA104263U. До складу безпілотного літального апарату входить фюзеляж із встановленими стріловидними крилами та аеродинамічно оптимізованими органами його керування, та рушій з силовою установкою. Довжина кореневої хорди крила менша за довжина фюзеляжу. Крила БПЛА мають характерний S-подібний профіль. Силова установка з рушієм розміщені у передній або задній частині фюзеляжу. Корисна модель

належить до безпілотних літальних апаратів, призначених для виконання спеціальних завдань, обумовлених довготривалим спостереженням об'єктів, розташованих на поверхні землі (Рис. 2.1.4.1.). Вибраний через польотні якості та модульну конструкцію, яка дозволяє нам за допомогою заміни модулів отримувати більш точні результати, та здешевлення випробувань, на відміну від виготовлення і випробування декількох повноцінних прототипів.

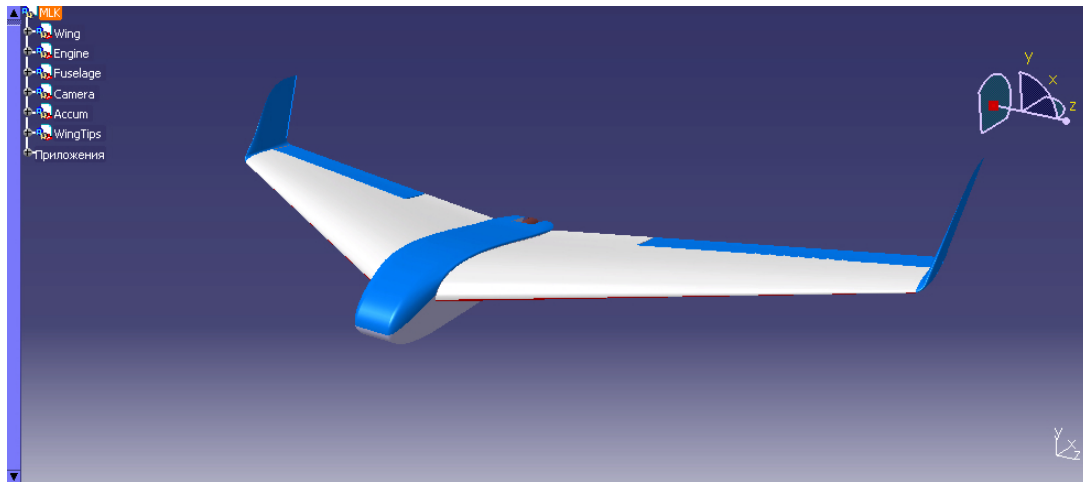


Рис 2.1.4.1 - Прототип БПЛА SkyBow [9]

Carboline - це надтонкий дво- або багато-спрямований нетканний матеріал з високоякісного вуглецевого волокна. Товщина моношару від 0,015 мм (Рис. 2.1.4.2). Сумісний з епоксидними та іншими смолами.

Призначений для сендвічевих конструкцій, надтонкий оболонки, поперечному армування трубчастих конструкцій, виготовлення стільникових конструкцій.

Також цей КМ має екрануючий ефект за рахунок дуже добрій електропровідності, що не буде дозволяти зовнішнім і внутрішнім шумам і завадам впливати на роботу датчиків під час місії БПЛА.



Рис. 2.1.4.2 - Зразок Carboline

Автопілот – це електронний пристрій, що програмно реалізує потрібний здійснює алгоритм керування польотом ЛА.

Польотний контролер включає сенсори прискорень та кутової швидкості апарату. Такий мінімальний комплект сенсорів польотного контролера може забезпечити аеродинамічну стабільність апарату в повітрі.

Для БПЛА, що несе корисне бортове навантаження, в тому числі для радіокерованих ЛА, використовують складніші польотні контролери, що містять більшу кількість датчиків сенсорів.

Магнітометричний датчик дозволяє стабілізувати орієнтацію апарату щодо магнітного поля землі.

Барометричний сенсор дозволяє стабілізувати висоту польоту ЛА і його належну автоматичну посадку на висоті і в точці старту барометричним методом. Висотоміри інших конструкцій (ультразвукові, лазерні або радіотехнічні) дозволяють утримувати висоту з більшою точністю, і при цьому здійснювати автоматичну посадку в будь-якій точці, при цьому надають можливість уникати перешкод.

Автоматичний політ за маршрутом та стабілізація становища БПЛА здійснюється завдяки приймачу GPS / GLONASS, який також дозволяє здійснювати автоматичне повернення в точку старту. Підвищення безпеки

експлуатації БПЛА та виконання спеціальних польотних операцій вимагає застосування інших сенсорних пристроїв .

Pixhawk за комплексом технічних характеристик займає лідируючі позиції по контролю, стабілізації та управлінню рухом БПЛА, вирішенню польотних задач керування мультикоптерами чи безпілотними літаками.



Рис. 2.1.4.3 - Pixhawk 2 cube [14]

Особливості Pixhawk 2 cube:

- операційна система NuttX RTOS;
- 32 bit ARM Cortex® M4 процесор;
- кількість серво виходів: 14 PWM (8 - з підтримкою failsafe, 6 – додаткових, з підтримкою high-power)
- можливість підключення додаткової периферії (як опції UART, I2C, CAN);
- PPM вхід для підтримки сучасних приймачів;
- спрацювання вмонтованої резервної системи "На льоту" або "Примусово" (реалізовано на окремому процесорі і окремому колі живлення);
- інтегровані міксер і автопілот в резервну систему і в ручне управління;

- резервне живлення сервоприводів і автоматичне дублювання основного живлення;
- наявність зовнішньої кнопки безпеки при запуску двигунів;
- гучномовець на п'єзоелементі;
- підтримка карти пам'яті microSD для системних логів;
- можливість підключення дублюючих сенсорів (однотипних);
- підтримка цифрових сенсорів;
- відкрита архітектура і вихідний код;
- захист за струмом на вході і антистатичний захист (ESD) на виході;
- підтримка сучасної інерційної системи.

Технічні характеристики системи:

- Процесор (ЦПУ): 32 бітний, STM32F427 Cortex M4 core with FMU;
- Оперативна пам'ять (ОЗУ): 168 MHz / 256 KB RAM / 2 MB Flash;
- Со-процесор: 32 бітний, STM32F103 failsafe co-processor
- Операційна система: NuttX RTOS

Сенсори сенсорні пристрої:

- Гіроскоп: модель ST Micro L3GD20, 3-axis (3 осі), розрядність 16-bit;
- Акселерометр (ссенсор прискорення) / магнетометр (сенсор магнітного поля та орієнтації): виробник ST, модель Micro LSM303D 3-axis (3 осі), розрядність 14-bit;
- Акселерометр / гіроскоп: виробник Invensense, модель MPU 6000 3-axis;

- Барометр (сенсор абсолютного тиску та висотомір): MEAS MS5611

Інтерфейси:

- Послідовний порт 5x UART (serial ports), 1 з підтримкою high-power, 2x з підтримкою HW flow control;
- 2x CAN
- Spektrum DSM / DSM2 / DSM-X® Satellite підтримка приймачів до DX8 включно (DX9 і новіші не підтримуються)
 - PPM sum signal вхід вимагає сучасні приймачі
 - Futaba S.BUS® сумісний вхід / вихід
 - RSSI (PWM or voltage) вхід
 - Інтерфейс послідовний I2C®
 - Інтерфейс послідовний SPI
 - живлення 6.6V входи постійної напруги
 - Зовнішній порт мікро USB.
 -

Система живлення:

- Контролер PixHawk підтримує три типи електроживлення, одночасно або окремо: від модуля живлення Power Module, від шини сервоприводів, від USB-порту. Для кожного типу живлення визначено діапазон напруг 4,1..5,7 В.
 - Дублююча система живлення з доданим контролером
 - Шина сервоприводів підтримує напругу до 7V (6 виходів)
 - цифрові сервоприводи високого струмоспоживання
 - Виходи периферії оснащено струмовим захистом (over-current protected),

- Виходи периферії оснащено ахистом від статичної напруги (ESD protected)

Периферія:

- PPM енкодер для приймачів які не підтримують PPM вихід
- Зовнішні USB і LED модулі
- Цифровий датчик швидкості повітря (для авіамоделей з жорстким крилом)
- Передавач / приймач телеметрії для зв'язку з наземної станиці підтримка PC / Mac / Linux
- Приймач GPS і компас (необхідний для автономних польотів, за маршрутом і більш точного утримання позиції)
- Оптичний сенсор і сонар (для утримання позиції на висоті до 10 метрів)[2].

Безколекторний електродвигун T-Motor U11 / 90KV з високоефективної серії T-Motor U-Power.



Рис. 2.1.4.4 – T-Motor U11 [13]

Характеристики:

- Призначення: БПЛА типу літак

- Максимальна тяга: 3014г
- Вага: 144г
- Розміри: 62.2х36.2 мм
- Оберти: 1250об / В
- Живлення: 3-4 S
- Діаметр вала: 5 мм
- Конфігурація: 12N14P
- Струм спокою: 0,3 А
- Максимальний струм: 67 А
- Максимальна потужність: 963 Вт
- Максимальна ефективність: 84%
- Внутрішній опір: 116 мОм .

Регулятор ходу **T-Motor Alpha 40A** для моделей типу літак має функції, відсутні у конкурентів серед яких можна відзначити захист від по стандарту IP55 і покращене пасивне повітряне охолодження.

Регулятор ходу Hobbywing **XRotor PRO 80A - HV** для моделей типу літак.



Рис. 2.1.4.5. – XRotor PRO 80A – HV

Характеристики:

- Тип: регулятор безколекторний
- Виробник: Hobbywing
- Призначення: бпла типу літак
- Харчування: 24 - 48 В
- Номінальний струм: 80 А
- Піковий струм: 100 А
- Вологозахист: IP55
- Тип управління двигуном: векторне
- Протоколи управління: PWM
- Охолодження: пасивне, повітряне [14].

Карбонові гвинти -Motor G26x8.5 Prop – 3PCS/



Рис. 2.1.4.6. – T-Motor G26x8.5 Prop

Характеристики:

- Діаметр/Крок 16*5.4
- Вага 26,5г
- Матеріал CF + Ероху
- Тип 3-х лопастні
- Оптимальні обороти 5200-7000 об/хв.

Максимальна тяга 8кг .

Передавач / приймач телеметрії для зв'язку з наземною станицією

На роль радіо телеметрії моно було вибрано **RFD 900x** одними з основних переваг даної телеметрії є висока якість сигналу та канал передачі сигналу PPM одночасно з сигналом телеметрії



Рис. 2.1.4.7 – RFD 900x

Можливості:

- дальність передачі до 40 км (в залежності від антен)
- два роз'єми RP-SMA під антену для забезпечення стійкого обміну даними (перемикання на сильніший сигнал)
- потужність передавача: 1 Вт (+30 дБм)
- фільтр низьких частот
- RX SAW фільтр
- малий розмір і вага
- підтримка 3DR / Норе-RF радіо модулів

Інтерфейси:

- радіочастотний: 2 роз'єми RP-SMA
- послідовний: TTL (+3.3)

- живлення: +5 В, максимальний струм в піках ~ 800 мА (при максимальній потужності передачі)
- GPIO: 6 висновків входів / виходів загального призначення (цифрові, АЦП, ШІМ)

Характеристики:

- частота: 902 - 928 МГц / 915 - 928 МГц
- вихідна потужність: 1Вт (+ 30дБм), з кроком в 1дБ
- швидкість передачі даних: 4, 8, 16, 19, 24, 32, 48, 64, 96, 128, 192, 250 і 500 кбіт / сек (вибирається користувачем, 64к за замовчуванням)
- швидкість послідовного порту: 2400, 4800, 9600, 19200, 38400, 57600, 115200, 400К, 921к (вибирається користувачем, за замовчуванням 57600)
- чутливість прийому: > 121 дБм
- розміри: 30 мм (ширина) x 57 мм (довжина) x 12.8 мм (товщина)
- маса: 15 грам
- кріплення: 3 гвинта M2.5
- харчування: номінальне 5В, (3.5 В мінімальне, 5.5В максимальне), ~ 800 мА в піках
- діапазон температур: -40 ... +85 град. С, тестувався при -73 ... +123 град. С .

Приймач GPS і компас **Hero+** (необхідний для автономних польотів, за маршрутом і утримання позиції)



Рис. 2.1.4.8. – GPS Here+

Особливості:

- Позиціонування GNSS для сантиметрового рівня для масового ринку
- Інтегрована кінематика в реальному часі (RTK) для швидкого виходу на ринок
- Найменший, найлегший і енергоефективний модуль RTK

Характеристики:

- Розривне кріплення
- 4 опції компаса
- MPU9250 IMU (для виявлення та компенсації похибки)
- Барометр MS5611 6CM Заземлення.

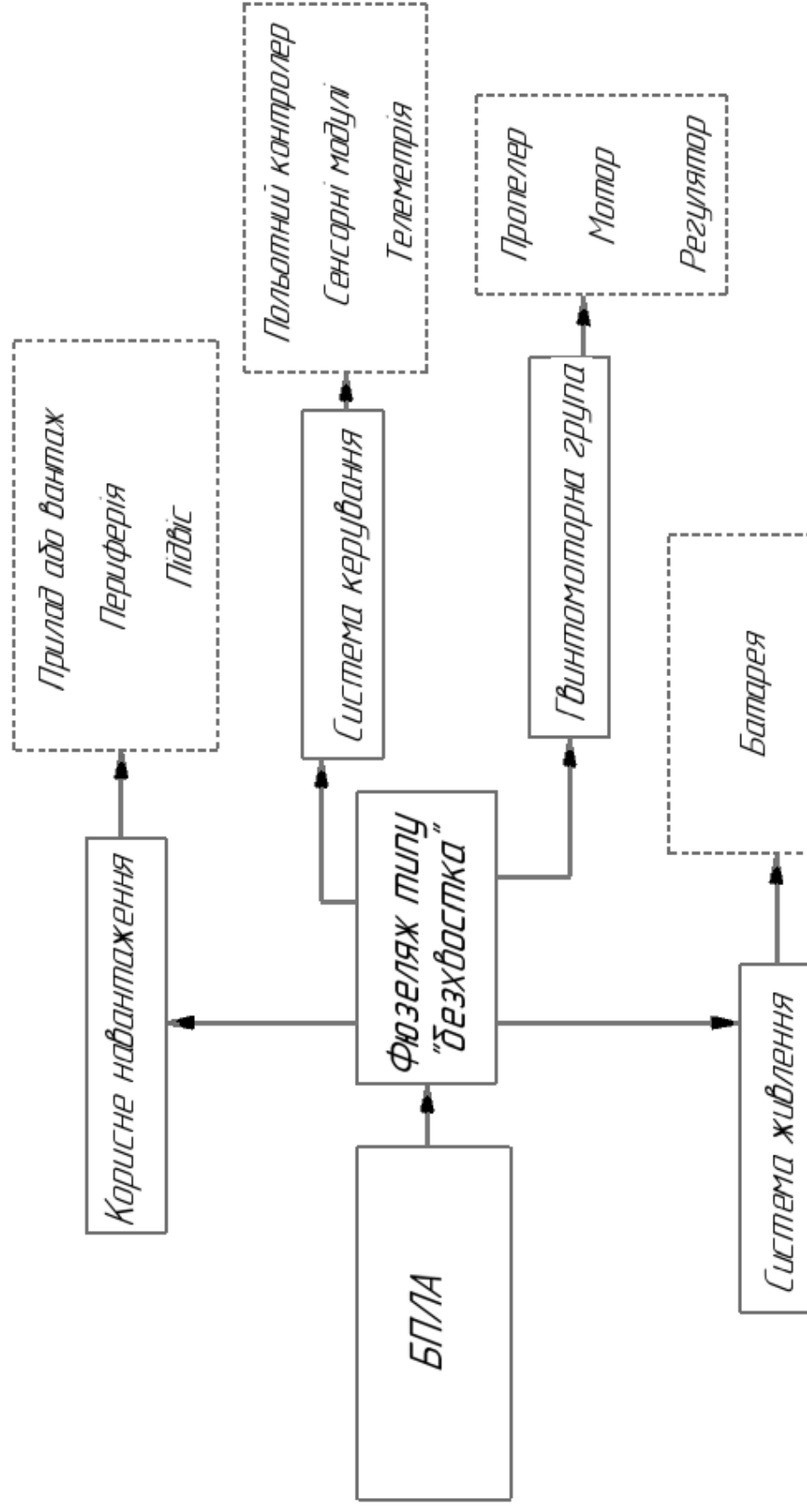


Рис. 2.1.4.9. - Структурна схема БПЛА

Для БПЛА була обрана конфігурація корпусу «безхвостка» (хвостова балка і горизонтальне оперення відсутні, вертикальне оперення розміщується на фюзеляжі). Дана конфігурація зумовлює менші масу і габарити у порівнянні з іншими схемами.

До гвинто-моторної групи (ГМГ) БПЛА виходять такі компоненти як: двигун, регулятор ходу ESC, гвинт.

На ЛА будуть використані безколекторні двигуни (БК), або як їх ще називають, безщіточні двигуни - двигун з магнітним ротором та обмотками на роторі. Як і у колекторних двигунах момент БК двигунів є прямо пропорційний струму, Швидкість обертання залежить від напруги і навантаження що діє на нього. Основною перевагою безколекторного двигуна перед колекторним є його надійність та набагато більший ресурс, через відсутність у першого частин що стираються.

Переваги БК двигунів:

- точність позиціонування
- широкий діапазон зміни частоти обертання
- здатність витримувати високий моменту
- високий термін служби
- висока надійність і великий ресурс [12]

Регулятор ходу ESC (Electronic Speed Controller) – дослівно "електронний регулятор швидкості", елемент що дає змогу регулювати оберти двигуна змінюючи потужність що подається на нього. Також регулятор визначає напрямок обертання мотора (сам або спосіб підключення до нього). Також зустрічаються назви: регулятор ходу, регулятор оборотів, Motor Speed Controller. Регулятор дає можливість свого програмування, за рахунок чого можна корегувати роботу двигуна в залежності від поставленої задачі. Є можливість не тільки змінювати обороти і напрямок роботи мотора, але і налаштувати плавний або різкий

старт якщо цього потребує задача, внести обмеження струму, та ряд інших налаштувань в залежності від потреби. Для налаштувань (програмування) використовуються програматори (або програматорні карти), спеціальні пристрої для підключення комп'ютера, або в польових умовах це можна робити за допомогою передавача орієнтуючись на спеціальні звукові сигнали[13].

Польотний контролер – це пристрій що управляє польотом БПЛА. Даний термін найчастіше застосовують до БПЛА, і невеликих авіамоделей. В пілотованих ЛА використовується термін автопілот. Зараз цей термін відносять найчастіше пристроїв що керують мультироторними БПЛА.

Основними функціями польотного контролера є:

- Стабілізація;
- Утримання висоти і позиції;
- Автоматичний політ по координатам;
- Передача на землю даних польоту за допомоги Bluetooth, WiFi передавачів (опціонально);

Функції польотного контролера насамперед залежать від зовнішніх елементів що будуть до нього підключені, адже деякі з автопілотів не мають такої можливості. Вони можуть використовувати достатньо велику кількість різноманітної периферії в залежності від інтерфейсів підключення за знаходяться на ньому.

GPS служить для утримання точки, орієнтації в просторі, виконання автоматичного польоту по заданим координатам, та можливості автоматичного повернення в точку старту.

Модем (Bluetooth, WiFi) для дистанційної настройки і перегляду параметрів польоту можуть використовуватися бездротові канали зв'язку:

модем на 433 або 910 МГц, Bluetooth або Wi-Fi-модуль. Дальність їх роботи відповідно, може становити від 50 м до 10 км.

Відеолінк дає можливості перегляду зображення з ЛА, на нього встановлюють міні-камеру і відеопередавачі. Частота передачі зазвичай становить 900 МГц, 1.2, 2.4 або 5.8 ГГц. Більш високі частоти зручні більш компактними антенами, однак більш низькочастотні сигнали краще оминають перешкоди. Орієнтовна дальність прийому відеосигналу при потужності передавача 200-400 мВт становить близько кілометра, дальність може бути збільшена або спрямованими антенами, або установкою більш потужного передавача.

Для передачі використовують аналогові камери стандартів PAL або NTSC, цифрові канали поки не використовуються.

Модуль OSD (On Screen Display) – використовується для накладання на відео зображення що отримується з БПЛА важливих даних про стан польоту.

Датчики струму і напруги для постійного для моніторингу заряду батареї встановленої на апараті під час польоту. Даний модуль може попереджувати користувача про низький заряд батареї (світловим та звуковим сигналами) або БПЛА здійснить автоматичну посадку (якщо дана функція запрограмована).

У випадку неконтрольованого (аварійного) падіння або посадки БПЛА, можуть бути використані різні пошукові пристрої: GPS-трекер, звуковий індикатор, тощо [1].

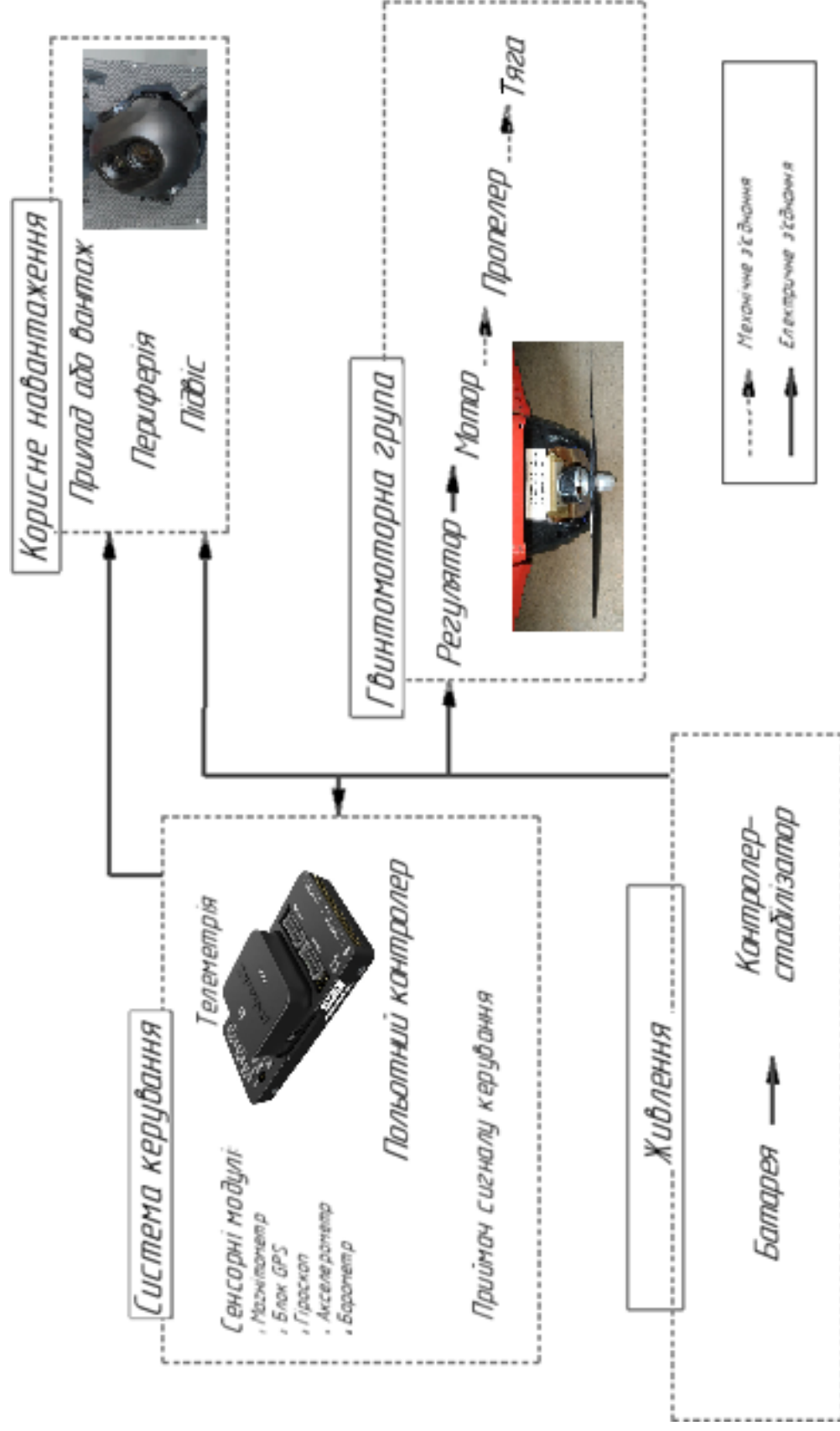


Рис. 2.1.4.10. - Функціональна схема БПЛА

Основним елементом в будь-якій безпілотній платформі є польотний контролер. Він отримує дані від таких датчиків як: барометр, акселерометр, гіроскоп, опціонально GPS. Це дає йому змогу орієнтуватись у просторі, та здійснювати автоматичний політ, стабілізує БПЛА себе відносно землі, здатен витримувати висоту. Політ відбувається за рахунок підйомної сили крила та тяги, що генерує ГМГ. Функціональну схему БПЛА можна розділити на такі блоки взаємодії як:

- ПК – датчики
- ПК – модулі керування та передачі даних
- ПК – ГМГ
- ПК – система живлення

Розглянемо їх детальніше

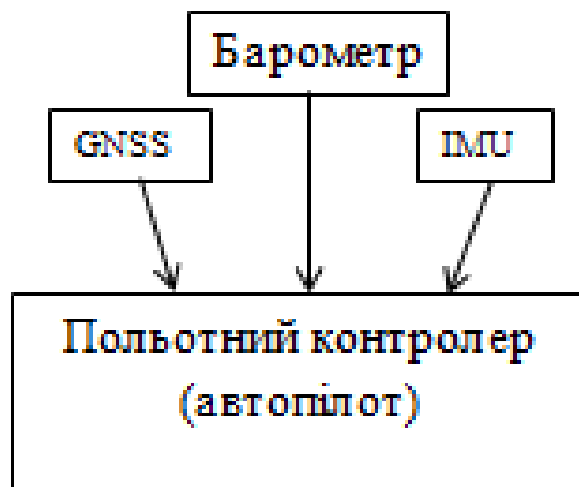


Рис. 2.1.4.11. ПК -датчики

Оскільки від роботи польотного контролера залежить стабільність усього польоту, то при створенні дронів розробники активно застосовують різні методи, що дозволяють ці елементи максимально віброізулювати. Як правило, чим краще віброізулювано контролер та вища якість

калібрування датчиків, тим стабільніше буде літати дрон. Останнім часом польотні контролери високого класу випускаються вже з вбудованою віброізоляцією.

До польотному контролеру підключається набір різних датчиків (GPS, гіроскопи, барометр, акселерометр і т.д.), які передають йому свої дані. Опрацьовуючи дані отримані від датчиків автопілот має таку інформацію як: положення у просторі, швидкість, прискорення, швидкість набору та скидання висоти, крен, тангаж, ристання, курс, і т.д.

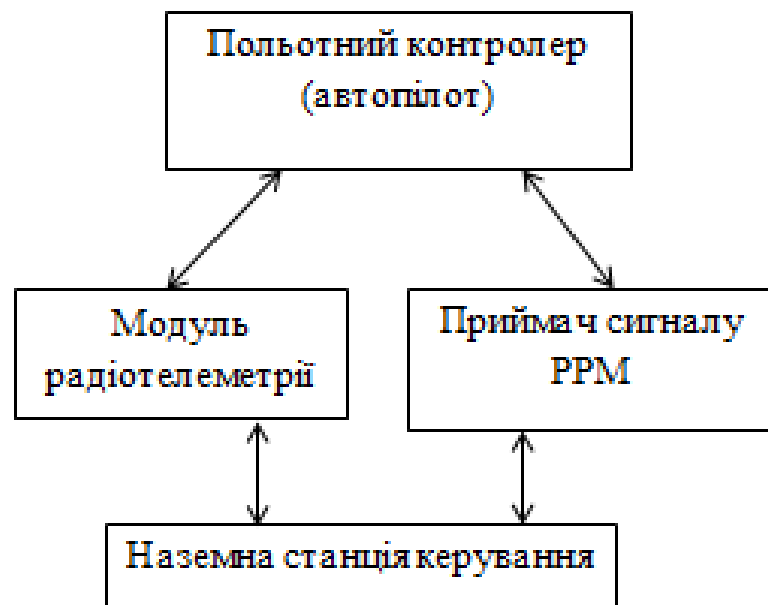


Рис.2.1.4.12. ПК – модулі керування та передачі даних

Кожен пульт управління дроном налаштований на певну кількість каналів. Мінімальна кількість каналів для дрона - 4 (визначається кількістю осей, що знаходяться під управлінням).

ШИМ (PWM) з точно таким же принципом використовує і бортовий приймач. Це невеликий пристрій, що отримує сигнали радіоуправління з землі і передає їх у польотний контролер. Найчастіше у польотному контролері для кожного каналу управління (газ, тангаж, крен і т.п.) є свій

вхід на який надходить ШІМ (PWM). Логіка взаємодії проста, команда, наприклад «70% газ» безперервно йде з землі на приймач, де перетворюється в ШІМ і по окремому проводу надходить у польотний контролер. Аналогічно з тангажем, креном, ристанням.

Обробивши сигнали, що надійшли, польотний контролер дрона відправляє відповідні інструкції регулятору обертів, а той, в свою чергу, змінюють параметри обертання пропелера апарату.

Для того, щоб дрон літав збалансовано і добре керувався, його пропелери при польоті обертаються в різні боки (одна пара за годинниковою стрілкою, інша - проти неї).

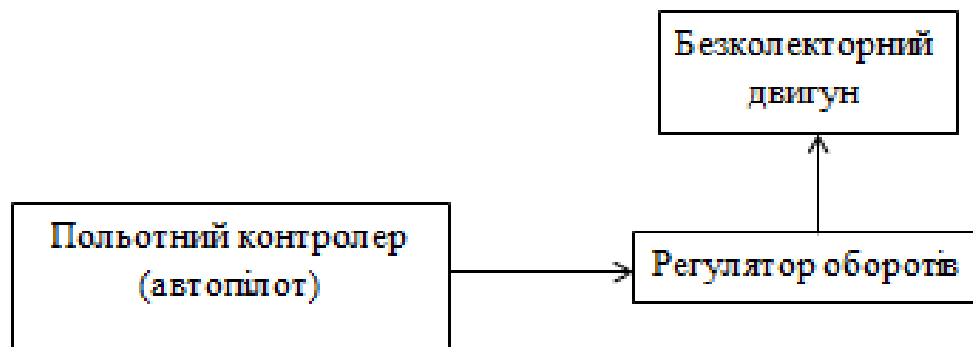


Рис.2.14.13. ПК – ГМГ

Двигун приєднується до пропелеру і приводить його в рух зі швидкістю, що генерується регулятором обертів. Регулятор обертів задає швидкість, виходячи з команд, що надходять від польотного контролера у вигляді ШІМ сигналу. Щоб дати команду мотору обертатися з максимальною швидкістю контролер має відправляти імпульси тривалістю 2 мс, розмежовані логічним нулем тривалістю 10-20 мс. Тривалість імпульса в 1 мс відповідає зупинці мотора, 1,1 мс – 10% від максимальної швидкості, 1,2 мс – 20% і т.п. Тривалість нуля практично не грає ролі, важлива тільки тривалість самого імпульсу.

Значення діапазону регулювання від 1 до 2 мс не є універсальними, і в залежності від багатьох факторів впливу може виявитися, що на практиці діапазон регулювання знаходиться, наприклад, в межах 1.1 — 1.9 мс. Для того, щоб регулятор і контролер «розуміли» один одного існує процедура калібрування.

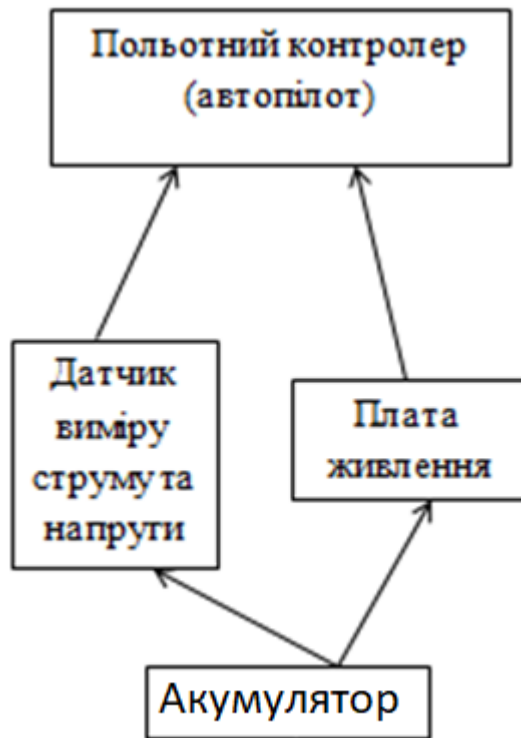


Рис. 2.1.4.16. ПК – система живлення

Система живлення даного дрона складається з джерела струму – літій-полімерної батареї. Далі йде плата живлення - вона виконує роль точки розподілу живлення на всі елементи ПМП, стабілізує його. Датчик виміру струму та напруги служить для моніторингу цих показників, відправляє на ПК дані які дозволяють йому слідкувати за зарядом і у випадку виникнення непередбачуваної ситуації здійснити одну з запрограмованих дій.

2.1.5 Висновки до Розділу 2

У розділі проведене ознайомлення з методом виготовлення карбоновмісного матеріалу починаючи з нитки до готової конструкції. Далі були розкриті різні методи роботи з матрицями КМ.

З проведеного огляду можна оцінити широкий діапазон можливостей композитних матеріалів в області виготовлення ЛА, гвинтів та багатьох конструкційних елементів для безпілотних літальних апаратів.

У розділі зроблено вибір матеріал корпусу. З огляду існуючих систем автопілотів було виділено комплектуючі, які одночасно є відкритими системами для розробників та мають достатню обчислювальну потужність.

Із усіх перелічених аналогів автопілоту, Pixhawk являється оптимальним вибором. З'ясована можливість сумісної роботи підібраних комплектуючих та їх комплексування.

Також було представлено структурну і функціональну схеми.

Із усіх перелічених варіантів автопілоту, Pixhawk являється оптимальним вибором. Оскільки це нова система автопілоту побудована на базі проекту з відкритим кодом PX4, вона має усі нові інтерфейси, що дає змогу підключення достатньої кількості додаткових датчиків для підвищення точності роботи системи та отримання більшого діапазону можливостей.

На роль ГМГ було обрано комплект з таких елементів як : двигун T-Motor U5, регулятор ходу T-Motor Alpha 40A, та гвинт T-Motor P16x5.4. Вибрані компоненти мають одні з найкращих показників в відношенні тяги та споживання енергії на поточний час. Розроблено раму БЛПА у середовищі програмного забезпечення КОПМАС - 3Д.

У розділі ми ознайомилися з особливостями шумів і завад, причинами, що призводять до їх появи у схемах та провідниках. Вплив на роботу систем. Також було розглянуто декілька методів боротьби та зведення до мінімуму впливу шумів та завад на чутливі елементи схем.

3. даній роботі представлено

3.1.1 Результати випробування

В роботі досліджена можливість роботи вибраних комплектуючих БПЛА з точки зору їх електромагнітної сумісності. На випробуваннях системи ізоляції від внутрішніх та зовнішніх шумів та завад емпіричним шляхом було продемонстровано можливість покращення системи керування ЛА.

На графіку (Рис.3.1.1.1) наведено залежності наростання похибки з часом польоту ЛА. З наведеного видно, що на етапі перевірки готовності до польоту похибка системи не змінюється. З початком виконання завдання похибка системи істотно зростає. Починаючи з 2 хв польоту до 5 хв в не ізольованій системі спостерігається стрімке зростання похибки. На етапі завершення задачі ЛА з 5 хв по 6 хв експерименту зростання похибки не спостерігалось.

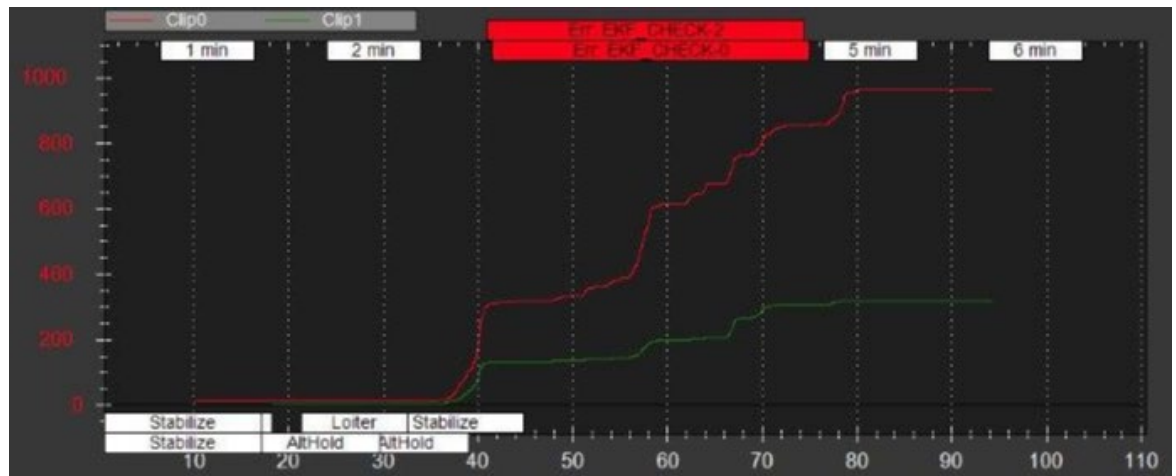


Рис 3.1.1.1 - Показання загальної похибки всіх датчиків на борту ЛА

Під час експерименту також були зняті показання магнітометра, з початку експерименту на графіку (Рис 3.1.1.2) можна спостерігати дивне коливання на підготовці до виконання завдання ЛА, які в майбутньому

спостерігаються і під час польоту. В цей момент ізольована фізична система магнітометра показала себе з найкращої сторони починаючи з того що її похибка дорівнювала нулю від підключення живлення до виконання задачі ЛА. При цьому не забуваємо про властивість магнітометра з часом не збільшувати похибку.

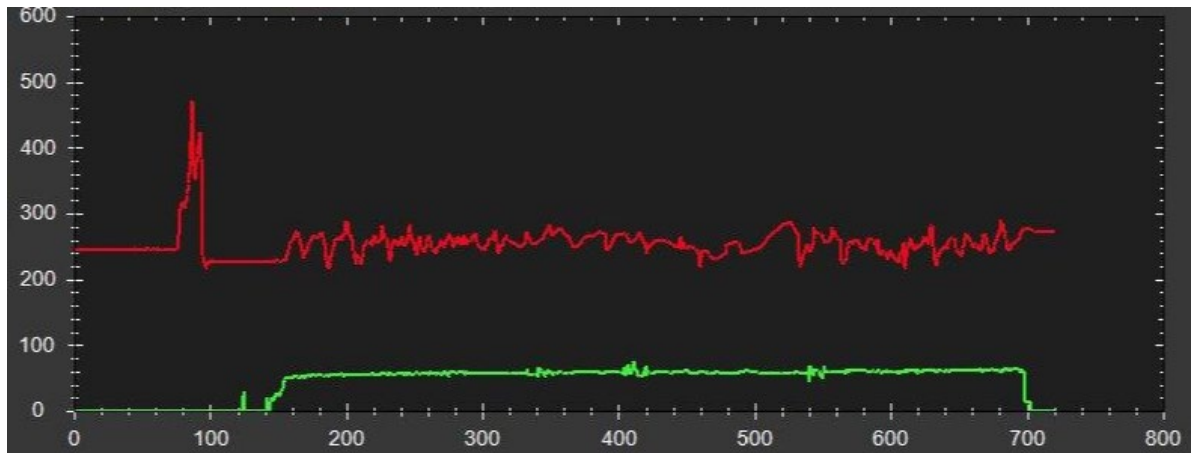


Рис 3.1.1.2 - Показання магнітометрів

Для мене та моєї молодшої команди дані показання на графіку (Рис 3.1.1.3) являлися найбільш важливими, адже вони показали нам різницю між входом сигналу на одному із каналів пульта керування та приймачах. Один з яких був ізольований, крім антени, Даний експеримент підтверджує корисність ізоляції приймача керуючого радіозв'язку від внутрішніх і зовнішніх завад.

Даними розбіжностями в показаннях можна знехтувати, адже не зважаючи на те, що ми використовували два різних приймача не варто забувати про інші впливаючі фактори такі як: розташування, не можливість отримати дві ідентичні антени.

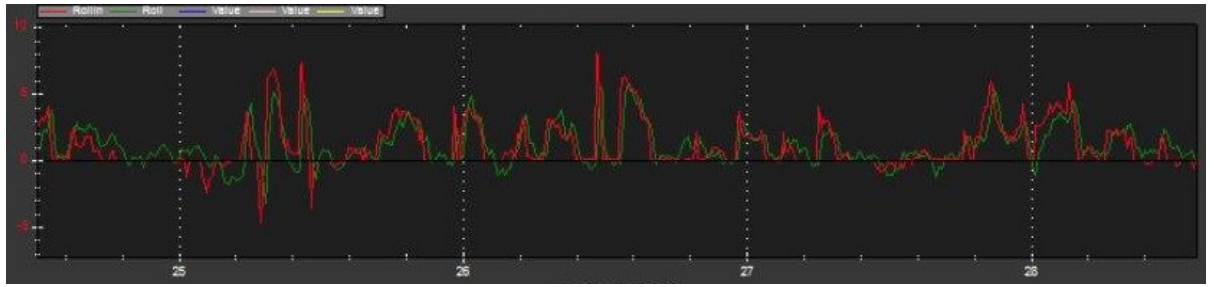


Рис 3.1.1.3. - Показання одного із каналів радіозв'язку

3.1.2 Висновки до Розділу 3

В даному розділі розглянуто данні, отриманні в ході випробування БПЛА про рівень впливу на чутливі елементи БПЛА такі як акселерометр, гіроскоп, магнітометр модуль GPS та датчик атмосферного тиску. Також отримано інформацію про різницю вхідного сигналу радіопередавача і вхідного сигналу приймача.

Під час випробувань системи ізоляції елементу бортового радіозв'язку було досягнуто зменшення зашумлення каналу, що дає більш стабільний сигнал під час виконання місії БПЛА.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ І ВИСНОВКИ

Основною метою роботи було дослідження впливу зовнішніх електромагнітних завад та внутрішніх шумів на бортові електронні системи за умови збереження масо-габаритних параметрів без зниження міцності корпусу БПЛА шляхом використання композиційних матеріалів.

Під час виконання роботи було виконано задачу захисту чутливих елементів БПЛА у поєднанні з використанням новітніх матеріалів у вигляді карбоновмісного КМ що був узятий як основний матеріал для побудови прототипу БПЛА на базі SkyBow

Якщо орієнтуватися на отримані вище графіки, нам це вдалося. Подальший розвиток таких систем призведуть до підвищення стійкості до засміченого простору електромагнітним випромінюванням, зростанню ресурсу окремо взятого ЛА і безпечного їх використання в будь-якій місцевості.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Свирская, С.Н. Строение и классификация полимеров: метод. Пособие // С.Н. Свирская, И.Л. Трубников. – Ростов: Издво. Южного федерального университета, 2007.
2. Энциклопедия полимеров. В 3 т. – М. : БСЭ, 1977. – Т. 1 – 3.
3. Бондалетова Л. И., Бондалетов В. Г. Полимерные композиционные материалы (часть 1) // Томский политехнический университет.
4. В.А. Рогов, М.И. Шкарупа, А.К. Велис Классификация композиционных материалов и их роль в современном машиностроении // Вестник РУДН, серия Инженерные исследования, – 2011 .–№2.– с. 44 – 46
5. Бондалетова Л. И., Бондалетов В. Г. Полимерные композиционные материалы (часть 1) // Томский политехнический университет. – 2013.
6. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология : учебное пособие вузов // М.Л. Кербер, В.М. Виноградов, Г.С. Головкин; под ред. А.А. Берлина. – Спб. : Профессия, 2008
7. “Молодой учёный” Ежемесячный научный журнал № 4 (27) / 2011 Том I
8. “Методы подавления шумов и помех в электронных системах” перевод с английского Б,Н, Бронина Издательство “Мир” Москва 1979
9. UA 104263 U
10. Л.Н. Тялина, А.М. Минаев, В.А. Пручкин Новые композиционные материалы // ГОУ ВПО ТГТУ, – 2011.
11. Пахаренко В.А., Яковлева Р.А., Пахаренко А.В. Переработка полимерных композиционных материалов. – К. : Воля, 2006
12. COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT AND THE COUNCIL – EASA – [Электронный ресурс]

доступу: https://www.easa.europa.eu/system/files/dfu/Communication_Commission_Drone_s.pdf

13. T-motor store <http://store-en.tmotor.com/goods.php?id=415> [Online]

14. Pixhawk Autopilot [Online]

<https://pixhawk.org/modules/pixhawk>

.